

Lantbruket som energiproducent

– Tekniska, ekonomiska och miljömässiga förutsättningar för fjärrvärmeproduktion med lokalt skogsbränsle

The agricultural sector as an energy producer
– Technical, economical and environmental prerequisites for district heating production with local wood fuel

Emmy Petersson

SLU, Sveriges lantbruksuniversitet
Fakulteten för naturresurser och lantbruksvetenskap
Institutionen för energi och teknik

Emmy Petersson

Lantbruket som energiproducent – Tekniska, ekonomiska och miljömässiga förutsättningar
för fjärrvärmeproduktion med lokalt skogsbränsle
The agricultural sector as an energy producer – Technical, economical and environmental
prerequisites for district heating production with local wood fuel

Handledare: Åke Nordberg, institutionen för energi och teknik, SLU
Ämnesgranskare: Cecilia Sundberg, institutionen för energi och teknik, SLU
Examinator: Åke Nordberg, institutionen för energi och teknik, SLU

EX0724, Examensarbete 30 hp, Avancerad nivå, A2E, teknik
Civilingenjörsprogrammet i energisystem 300 hp

Serienamn: Examensarbete (Institutionen för energi och teknik, SLU)
ISSN 1654-9392
2013:06

Uppsala 2013

Nyckelord: lantbruk, fjärrvärme, lokalt skogsbränsle, livscykelanalys, trejdepartstillträde

Elektronisk publicering: <http://stud.epsilon.slu.se>

Abstract

A third party access to district heating networks has been proposed in Sweden, to increase the competition on the district heating market. Such third party access could create opportunities for the agricultural sector as an energy producer. This study describes the technical, economical and environmental prerequisites for a farmer cluster to build and run a heating plant, fueled with local wood fuel.

The heating plant in the described scenario is 8 MW and will supply a village of 1000 houses, and is fueled with wood chips exclusively. Supplying a heating plant with fuel puts high demands on the logistics, since there need to be a continuous flow of fuel. In the scenario, wood residues from felling and thinning is stored in stacks in the forest, and a few times a year chipped and transported to a storage area at the heating plant.

In the study, an estimation of the profitability has been made by estimating the cost of the investment, personnel, operating and maintenance costs and costs for the fuel and ash handling. Incomes have been estimated by average price for district heating in Sweden. The study estimates an outcome of 2.5 million SEK a year.

The environmental aspects of the heating plant have been evaluated through a life cycle assessment, and compared to a reference scenario with heat production fueled with natural gas. The study found that there is a considerable decrease in greenhouse gas emissions when using wood fuel instead of natural gas, but there is a slight increase in the eutrophication and acidification potential.

Sammanfattning

Fjärrvärme är idag det vanligaste uppvärmningssättet för hushåll i Sverige. Fjärrvärme brukar anses vara ett naturligt monopol, eftersom det inte är ekonomiskt lönsamt att bygga parallella fjärrvärmenät och leverans av fjärrvärme sker oftast av en enda leverantör i varje specifikt område. Fjärrvärmebranschen har på senare år fått kraftig kritik för att utnyttja sin starka ställning mot sina kunder vid prissättning, och det finns ett förslag om ett lagstadgat tredjepartstillträde till fjärrvärmenätet för att stärka konkurrensen.

Nya regler om tredjepartstillträde skulle kunna ge nya möjligheter för lantbruket att producera värme och leverera till fjärrvärmenätet. I denna studie, vilken är en del i en större studie om lantbruket som energiproducent, har ett scenario med ett bibränsleeldat värmeverk ägt och drivet av ett lantbrukarkooperativ beskrivits. Värmeverket förses med bränsle från egen skog. I scenariot finns redan ett mindre distributionsnät och en naturgasbaserad fjärrvärmeproduktion, där den befintliga produktionen skall bytas ut.

Fjärrvärmenätet i scenariot har 1000 anslutna villor, och effektbehovet har beräknats till 7,7 MW. Det årliga värmebehovet är 16,3 GWh, vilket inklusive distributions- och produktionsförluster ger ett bränslebehov på 20,2 GWh. För att kunna sköta hela värmeproduktionen med bibränsle har en anläggning med två flispannor om 5,5 respektive 2,5 MW valts. En fastbränslepanna fungerar normalt på 30-100 % av sin maxeffekt, och med en större och en mindre panna kan produktionen ske med bibränsle även på sommaren när effektbehovet är lågt.

Värmeverket förses med bränsle ur egen skog. Bränslet tas ut från grenar och toppar, grot, som annars skulle vara restprodukter vid slutavverkning och gallring. Hur stora arealer som krävs för att försörja värmeverket med bränsle beror på exempelvis träslagssammansättningen i skogsbeståndet och tillväxtförhållandena, samt hur stor andel av groten som tas ut. En uppskattning på 90-170 ha årligen för slutavverkning respektive gallring har gjorts.

Att förse ett värmeverk med bränsle ställer stora krav på logistiken, då det krävs kontinuerlig tillförsel av bränsle. Vid avverkningen läggs groten upp i högar i skogen för att torka lite och barra av. Därefter förflyttas den till närmsta bilväg där den läggs i papptäckta vältor, i vilka den kan lagras en längre tid. Vid ett antal gånger om året flisas grot med mobila flisningsaggregat och transporteras till ett lager vid värmeverket, där det beroende på årstid och bränslebehov lagras i upp till 10 veckor innan förbränning.

Vid förbränning av bibränsle uppstår aska som restprodukt, vilken måste tas om hand. I det beskrivna scenariot återförs askan till skogen och ersätter på så sätt en stor del av de näringsämnen och motverkar den förurning som uppstår då biomassa tas ut ur skogen istället för att ligga kvar och förmultna.

De ekonomiska förutsättningarna för den beskrivna anläggningen har bedömts genom uppskattningar av investeringskostnader, kostnader för uttag av bränsle ur skogen, personalkostnader, kostnader för drift och underhåll samt kostnader för askspredning. Inkomsterna har uppskattats utifrån medelpris på fjärrvärme. Totalt sett visar kalkylen på en årlig vinst på 2,5 miljoner kronor, eller 156 kronor per levererad MWh värme.

Miljöpåverkan har bedömts ur ett livscykelperspektiv. Studien har avgränsats till att gälla bränsleproduktion, elförbrukning för drift av anläggningen, förbränning och askspredning. Utsläpp till luft förekommer i alla led. I bränsleanskaffningskedjan samt vid askspredning kommer utsläppen från dieselanvändning för skogsmaskiner och transportbilar. Utsläppen för elanvändningen har beräknats utifrån nordisk elmix. Förbränningen av bränsle ger direkta utsläpp till luft. Scenariot har jämförts med ett

referensscenario med naturgas som bränsle vilket har utsläpp till luft i bränsleproduktionssteget, utsläpp från elproduktion för drift av anläggningen samt utsläpp från förbränningen. Studien visar att ett byte från naturgas till biobränsle ger betydande minskning i växthusgasutsläpp medan utsläpp som leder till försurning och övergödning ökar något. Biobränsleförbränning ger även stoftutsläpp vilka kan ha negativ effekt på människors hälsa.

Biobränsleuttag ur skogen kan även orsaka näringsurlakning och markförsurning i skogen. Detta motverkas dock genom askåterföring. Ett allt för stort uttag av skogsbränsle skapar också en brist på död ved i skogen vilket kan vara ett hot mot den biologiska mångfalden. En viss mängd grenar och toppar bör därför alltid lämnas kvar i skogen.

Exekutiv sammanfattning

Tredjepartstillträde till fjärrvärmenät kan öppna nya möjligheter för lantbruket som energiproducent. Föreliggande studie beskriver ett scenario där ett lantbrukarkooperativ bygger och driver ett värmeverk med lokalt skogsbränsle från egen skog. I scenariot finns ett befintligt distributionsnät och fjärrvärmeproduktion med naturgas, vilken skall bytas ut.

Studien visar att under de givna förutsättningarna är ett sådant projekt lönsamt, och att ett byte från naturgasproduktion till biobränsle innebär betydande miljövinster avseende klimatpåverkan.

Inför ett verkligt projekt bör dock vissa aspekter undersökas närmare. Investeringskostnaden är av avgörande betydelse för projektets lönsamhet, och bör därför studeras noga. Alternativa lösningar där spetslastproduktionen sker med fossilbränsle kan vara aktuella för att sänka investeringskostnaden och förenkla driften.

Innehållsförteckning

Figurförteckning	8
Tabellförteckning	9
1 Inledning	11
1.1 Bakgrund	11
1.2 Syfte	12
1.3 Metod	12
1.4 Scenario	12
2 Dimensionering av fjärrvärmesystemet	14
2.1 Värmelast	14
2.2 Total värmelast i fjärrvärmesystemet	14
2.3 Effektbehov	14
2.3.1 Dimensionerande utetemperatur	15
2.3.2 Effektbehov varmvatten	15
2.3.3 Maximalt effektbehov	16
2.3.4 Effektbehov sommartid	16
2.4 Energibehov	16
2.4.1 Graddagtal	17
2.5 Planering av anläggningen	18
3 Bränsle	19
3.1 Bränslebehov	19
3.2 Skogsbruk och skogsbränsleuttag	20
3.2.1 Typer av skogsbruk	20
3.2.2 Trakthyggesbrukets faser	20
3.3 Arealbehov	21
3.3.1 Statistik	21
3.3.2 Potential	21
3.3.3 Beräkningar	22
3.3.4 Sammanfattning arealbehov	23
3.4 Logistik	23
3.4.1 Avverkning, skotning och lagring i skogen	23
3.4.2 Flisning	24
3.4.3 Bränsletransporter	24
3.4.4 Lagring	24
4 Askhantering	25
4.1 Askåterföring	25
4.1.1 Härdning och askkvalitet	25
4.1.2 Dosering	25
4.1.3 Spridning	26
5 Ekonomi	27
5.1 Investeringskalkyl	27
5.1.1 Förbränningsanläggningen	27
5.1.2 Mark	27

5.1.3	Lastmaskin	28
5.1.4	Årlig kostnad för investeringen	28
5.2	Drift och underhåll	28
5.3	Personalkostnader	29
5.4	Kostnader för bränsle	30
5.4.1	Skotning.....	30
5.4.2	Flisning.....	30
5.4.3	Transportkostnad	30
5.4.4	Ställkostnader	30
5.4.5	Totala bränslekostnader	30
5.5	Kostnader för askhantering	31
5.6	Kostnader för distribution.....	31
5.7	Inkomster.....	31
5.8	Resultat.....	31
6	Miljö	33
6.1	Livscykelanalys	33
6.1.1	Funktionell enhet	33
6.1.2	Avgränsningar.....	33
6.1.3	Bioenergiscenario	33
6.1.4	Referensscenario	38
6.1.5	Miljöpåverkansbedömning	40
6.2	Övriga miljöaspekter	41
6.2.1	Stoft	41
6.2.2	Försurning och näringsurlakning vid uttag av biomassa.....	41
6.2.3	Biologisk mångfald	42
7	Känslighetsanalyser	43
7.1	Ekonomi.....	43
7.1.1	Investeringskostnad.....	43
7.1.2	Kalkylränta.....	43
7.1.3	Transportavstånd.....	44
7.1.4	Kostnad för bränslehantering.....	44
7.1.5	Drift- och underhållskostnader	44
7.1.6	Fjärrvärmepriset	45
7.2	Miljö	45
7.2.1	Förändrad dieselförbrukning.....	45
7.2.2	Transportavstånd.....	46
7.2.3	Marginaler.....	47
7.2.4	Västeuropeisk gas	48
8	Diskussion.....	49
8.1	Investering.....	49
8.2	Teknik	49
8.3	Bränslekostnad	49
8.4	Energimarknadsinspektionens förslag	49
8.5	Utsläpp av växthusgaser	50
8.5.1	Utsläpp av växthusgaser vid biobränsleförbränning.....	50

8.6	Övergödning och försurning.....	50
9	Slutsatser.....	52
9.1	Förslag på vidare undersökningar	52
10	Referenser	53

Figurförteckning

Figur 1 EUT5. Lägsta medeltemperatur över 5 dygn under en 30-årsperiod. (VVS-tekniska föreningen, 1974)	15
Figur 2 Bioenergiscenario - utsläpp under livscykeln	33
Figur 3 Nordisk elmix, medelvärde 2004-2011	36
Figur 4 Referensscenario - utsläpp under livscykeln	38
Figur 5 Investeringskostnadens påverkan på resultatet	43
Figur 6 Kalkylräntans påverkan på resultatet	43
Figur 7 Transportavståndets påverkan på resultatet	44
Figur 8 Bränslekostnadens påverkan på resultatet	44
Figur 9 Drift- och underhållskostnadernas påverkan på resultatet	45
Figur 10 Fjärrvärmeprisets påverkan på resultatet	45
Figur 11 Dieselförbrukningens påverkan på GWP i bioenergiscenariot	46
Figur 12 Dieselförbrukningens påverkan på EP och AP i bioenergiscenariot	46
Figur 13 Transportavståndets påverkan på GWP i bioenergiscenariot	46
Figur 14 Transportavståndets påverkan på EP och AP i bioenergiscenariot	47
Figur 15 Elursprungets påverkan på GWP. Bioenergiscenariot till vänster, referensscenariot till höger (obs. olika skala)	47
Figur 16 Elursprungets påverkan på EP och AP. Bioenergiscenariot till vänster, referensscenariot till höger.	48
Figur 17 Miljöpåverkan av västeuropeisk gas jämfört med nordsjögas	48

Tabellförteckning

Tabell 1 Preliminära scenarier i det större projektet, med det scenario som används här markerat.....	13
Tabell 2 U-värden.....	15
Tabell 3 Maximalt effektbehov	16
Tabell 4 Effektbehov sommartid.....	16
Tabell 5 Beräknat energibehov baserat på normalgraddagtal (SMHI, 2008) och husens värmebehov/grad, varmvattenbehov samt produktions- och distributionsförluster.....	17
Tabell 6 Två exempel på anläggningar	18
Tabell 7 Bränslebehov, uttryckt i olika enheter	19
Tabell 8 Statistik över arealer med skogsbränsleuttag, samt uttagna mängder skogsbränsle 2007-2010, i gallring och slutavverkning (Skogsstyrelsen, 2012).....	21
Tabell 9 Potential för skogsbränsleuttag (Skogsstyrelsen, 2008b)	22
Tabell 10 Skogsbränsleuttag vid slutavverkning beräknade med Flis av Flis (Skogforsk, 2011).....	22
Tabell 11 Skogsbränsleuttag vid gallring beräknade med Flis av Flis	23
Tabell 12 Arealbehov mark (m ²)	27
Tabell 13 Kostnader markarbeten	27
Tabell 14 Årlig kostnad för investeringen.....	28
Tabell 15 Uppskattning av personalkostnader.....	29
Tabell 16 Kostnader för bränsle, justerade till 2012 års nivå	31
Tabell 17 Ekonomiskt resultat (kr)	32
Tabell 18 Dieselförbrukning.....	34
Tabell 19 Utsläpp för produktion samt förbränning i motor för diesel med 5 % RME (Gode et. al., 2011)	35
Tabell 20 Utsläpp från skotning, flisning transport och bränslehantering (g/lev. MWh värme).....	35
Tabell 21 Utsläpp från förbränning i biobränsleeldat värmeverk (Bergström, 2013).....	36
Tabell 22 Utsläpp från nordisk elmix, medelvärde 2004-2011 (g/producerad kWh el)	37
Tabell 23 Utsläpp från driftel (g/lev. MWh värme).....	37
Tabell 24 Dieselförbrukning för askhantering.....	37
Tabell 25 Utsläpp från askhantering (g/lev. MWh värme)	38

Tabell 26 Utsläpp vid naturgasproduktion (Thunell, 1996)	39
Tabell 27 Utsläpp från driftel (g/lev. MWh värme)	39
Tabell 28 Utsläpp vid förbränning av naturgas i värmeverk (Uppenberg et. al, 2001)	40
Tabell 29 Karaktäriseringsfaktorer för miljöpåverkansbedömning (Gode et. al., 2011)	40
Tabell 30 Miljöpåverkan från biobränsle.....	40
Tabell 31 Miljöpåverkan från naturgas.....	41

1 Inledning

1.1 Bakgrund

Fjärrvärme är totalt sett det vanligaste uppvärmningssättet för hushåll. Fjärrvärme står för 93 % av den totala energianvändningen för uppvärmning och varmvatten i flerbostadshus, och för 16 % i småhus. (Energimyndigheten, 2011a&b) Fjärrvärmeproduktionen har ökat stadigt sedan 1960-talet och fortsätter att öka (Svenska fjärrvärme, 2012)

Fjärrvärmeproduktionen i Sverige består idag av ca 50 % biobränsle. Den andra hälften består främst av avfall, fossila bränslen, värmepumpar, industriell restvärme och torv. Enligt Europeiska miljørådet (EAA, 2006) är det på längre sikt jordbrukssektorn som har det största potentialen att öka mängden bioenergi i energisystemet. I lantbruket uppkommer restprodukter såsom halm och gödsel, vilka antingen kan förbrännas direkt eller rötas till biogas och som kan användas till värmeproduktion. Lantbruket kan även välja att producera energigrödor eller energiskog på sin mark, vilket kan användas till fjärrvärmeproduktion. Många lantbruk består dessutom av skogsmark utöver jordbruksmark, varför det finns en stor potential för råvara till förbränning, dels i form av restprodukter som grenar och toppar, samt i form av avverkningsprodukter. Institutionen för energi och teknik vid SLU ska i ett projekt finansierat av SLF, Stiftelsen Lantbruksforskning, undersöka om lantbrukarna kan skapa fördelaktiga system för att producera och sälja fjärrvärme till fjärrvärmenätet. Detta examensarbete är en del i detta projekt.

Fjärrvärme brukar anses vara ett naturligt monopol, och leverans sker oftast av en enda leverantör i varje specifikt område, då det inte är ekonomiskt praktiskt att bygga parallella fjärrvärmenät. Fjärrvärmebranschen har på senare år fått mycket kritik på grund av sin starka ställning gentemot sina kunder och att denna skall ha utnyttjats vid prissättning. 2009 tillsattes därför en utredning om ett lagstadgat tredjepartstillträde till fjärrvärmenätet. Resultatet av utredningen presenterades i april 2011, då den lämnades ut på remiss till ett stort antal berörda instanser. Många av de remissvar som lämnades in var dock starkt kritiska till utredningen, och regeringen beslutade att inte direkt lägga fram någon proposition utifrån utredningen. Istället gav man Energimarknadsinspektionen i uppdrag att utreda och föreslå en modell för reglerat tillträde till fjärrvärmemarknaden (Regeringen, 2012b) samt en modell för prisförändringsprövning (Regeringen, 2012a). Resultatet av dessa redovisades nyligen (Energimarknadsinspektionen 2013a&b).

Enligt fjärrvärmelagen finns redan en rätt för värmeproducenter att kräva förhandling om tillträde till fjärrvärmebolagets distributionsnät, men det finns ingen skyldighet för ett fjärrvärmebolag att acceptera att värmeproducenten ansluts till nätet. Även i fall då det rent ekonomiskt skulle vara intressant för båda parter kan det vara svårt att uppnå frivilliga avtal, vilket kan ha många orsaker. Energimarknadsinspektionen (2013a) föreslår en ny lagstiftning som innebär ett reglerat tillträde, och att fjärrvärmebolaget under vissa givna förutsättningar, är tvungen att acceptera ett tillträde. Tillträdet skall dock ske på ett sådant sätt att fjärrvärmebolaget hålls skadelöst, och risken ligger på den värmeproducent som vill ansluta sig. Förslaget ligger nu på regeringens bord.

Nya regler om tredjepartstillträde skulle kunna öppna möjligheter för lantbruket att producera värme att leverera till fjärrvärmenätet. Marknaden är dock än så länge outvecklad och det saknas modeller för lantbruket som energiproducent.

1.2 Syfte

Syftet med detta examensarbete är att, inom ramen för det större SLF-finansierade projekt om lantbruket som energiproducent som genomförs vid institutionen för energi och teknik vid SLU, ta fram ett scenario på hur lantbruket kan producera, sälja och leverera värme till fjärrvärmenätet. Scenariot skall utvärderas ur ett helhetsperspektiv. Fokus ligger på att beskriva ett scenario som kan ge ett fördelaktigt samarbete även utan ett lagligt tvingande införande av tredjepartstillträde, då det ännu är osäkert hur det framtida regelverket kommer att se ut.

1.3 Metod

Systemet skall analyseras utifrån tekniska aspekter, bränsle, logistik, ekonomi och miljöpåverkan.

Kostnaderna beräknas utifrån investeringskostnader för det tekniska systemet, produktionskostnader för bränslet, kostnader för drift och underhåll, transportkostnader och kostnader för att ta hand om restprodukter. Inkomster uppskattas genom antaganden om såld fjärrvärme.

Miljöaspekterna analyseras ur ett livscykelperspektiv, främst med fokus på utsläpp av växthusgaser, men även utsläpp som påverkar övergödning och försurning beaktas.

1.4 Scenario

I projektet används ett scenario där det finns ett mindre distributionsnät och en värmeproduktion med naturgas som bränsle, och där den befintliga produktionen skall bytas ut. Systemet antas ligga i Västergötland, i anslutning till det naturgasnät som finns på västkusten. Naturgaspannan behålls för att användas som reserv. Fjärrvärmenätet har 1000 anslutna villor, vilka alla är moderna och energisnåla.

Inom det större projektet kommer ett flertal scenarier att jämföras, där olika bränslen och affärsmodeller används, se Tabell 1. I samtliga scenarier är det ett fjärrvärmebolag som äger och sköter själva distributionsnätet, medan driften av produktionsanläggningen, försäljningen av värme till kund samt bränsleförsörjningen kan skötas av antingen fjärrvärmebolaget eller ett kooperativ av lantbrukare. I detta examensarbete kommer endast ett sådant scenario, baserat på lokalt producerad skogsflis som bränsle och med ett lantbrukarkooperativ som ansvarig för både bränsleförsörjning, produktion och värmeförsäljning till kund, att analyseras och jämföras med referensscenariot med naturgasproduktion.

Tabell 1 Preliminära scenarier i det större projektet, med det scenario som används här markerat.

	Försäljning av värme till kund	Värmeproduktion	Bränsleförsörjning	Bränsle
Ref.	Fjärrvärmebolaget	Fjärrvärmebolaget. Befintlig naturgaspanna.	Fjärrvärmebolaget	Naturgas
1	Fjärrvärmebolaget	Fjärrvärmebolaget. Bygger ihop nätet med större nät med stor produktion.	Fjärrvärmebolaget	Skogsbränsle
2	Fjärrvärmebolaget	Fjärrvärmebolaget. Bygger biopanna i byn.	Fjärrvärmebolaget	Skogsbränsle regionalt.
3	Fjärrvärmebolaget	Fjärrvärmebolaget. Bygger pelletspanna.	Fjärrvärmebolaget	Pellets. Regionalt alt. Internationellt.
4	Fjärrvärmebolaget	Fjärrvärmebolaget. Bygger biobränslepanna i byn.	Lantbrukarkooperativ.	Skogsbränsle
	Fjärrvärmebolaget	Fjärrvärmebolaget. Bygger biobränslepanna i byn.	Lantbrukarkooperativ.	Halm
	Fjärrvärmebolaget	Fjärrvärmebolaget. Bygger biobränslepanna i byn.	Lantbrukarkooperativ.	Salix
5	Lantbrukarkooperativ	Lantbrukarkooperativ. Bygger biopanna i byn	Lantbrukarkooperativ.	Skogsbränsle, lokalt
	Lantbrukarkooperativ	Lantbrukarkooperativ. Bygger biopanna i byn	Lantbrukarkooperativ.	Halm
	Lantbrukarkooperativ	Lantbrukarkooperativ. Bygger biopanna i byn	Lantbrukarkooperativ.	Salix

2 Dimensionering av fjärrvärmesystemet

2.1 Värmelast

För att kunna välja vilket eller vilka bränslen som är rimliga att använda och vilka tekniska lösningar som är möjliga behöver först områdets värmelast bestämmas. Värmelasten kan delas upp i två aspekter, energibehovet och effektbehovet. Effektbehov är den hastighet med vilken värme produceras, energimängd per tidsenhet. Energibehovet är ett mått på den totala mängden värme som behövs under en längre tidsperiod. Båda dessa mått är viktiga för att kunna planera en produktionsanläggning.

Behovet av värmeleveranser består av två delar, behov av värme för uppvärmning samt behov av varmvatten. Hur mycket värme som behövs för att upprätthålla en behaglig inomhustemperatur beror på utomhustemperaturen, och brukar därmed definieras som fysikalisk värmelast. Behovet av varmvatten däremot är direkt beroende av enskilda personers användning av varmvatten. Eftersom den beror på beteendet hos användarna brukar den definieras som social. Även om varje enskild belastning på systemet kan sägas vara slumpmässig, så uppstår dock generellt ett regelbundet mönster. Exempelvis brukar varmvattenförbrukningen vara högre på dagen än på natten, och då systemet främst försörjer bostadshus, brukar även en tydlig topp ses på morgonen, innan folk går till jobbet, och sedan en ny topp, ofta lite lägre och mer utspridd topp på kvällen.

I alla fjärrvärmesystem uppkommer förluster. Dessa förluster kan delas in i två huvudsakliga områden. Det är distributionsförluster och produktionsförluster. Det betyder i praktiken att för att kunna tillgodose kundens behov av värme måste det produceras tillräckligt mycket värme dels för att tillgodose kundens faktiska värmebehov, och dels för att täcka förlusterna i distributionssystemet på väg fram till kunden. Distributionsförlusterna utgör den tredje största delen av värmelasten, efter uppvärmning och varmvattenberedning. Förlusterna i distributionen brukar uppgå till ca 5-10 % av den årliga värmeproduktionen, men dessa förluster är starkt beroende av hur utsträckt distributionsnätet är i förhållande till kundernas värmebehov. Detta innebär att ett distributionsnät med en stor andel villakunder generellt har högre distributionsförluster än ett distributionsnät med hög andel flerbostadshus och lokaler, eftersom det då är längre avstånd mellan kunderna. Eftersom distributionsnätet i det tänkta scenariot har en hög andel villor kan distributionsnätet antas vara relativt utsträckt, med långa distributionsledningar, och därmed ha relativt höga distributionsförluster. 10 % används i beräkningarna.

På samma sätt krävs det att energiinnehållet i bränslet är större än vad den faktiska energiproduktionen är för att kompensera för produktionsförluster.

2.2 Total värmelast i fjärrvärmesystemet

Ovanstående beskrivning av värmelast har främst talat om enskilda kunders värmelast. Den totala värmelasten i fjärrvärmesystemet är summan av alla kunders värmelast samt förluster. Fjärrvärmesystemets värmelast varierar dels under året och dels under dygnet. Årsvariationerna beror på att uppvärmningsbehovet varierar med utetemperaturen. Värmelasten är således större under vintern. Dygnsvariationer uppkommer då sociala värmelaster främst förekommer under dagen.

2.3 Effektbehov

Fjärrvärmenätet antas ha 1000 anslutna moderna villor. För dessa villor har U-värden, dvs. värmebehov per ytenhet och grad, antagits enligt Tabell 2, och ett totalt effektbehov per hus har beräknats.

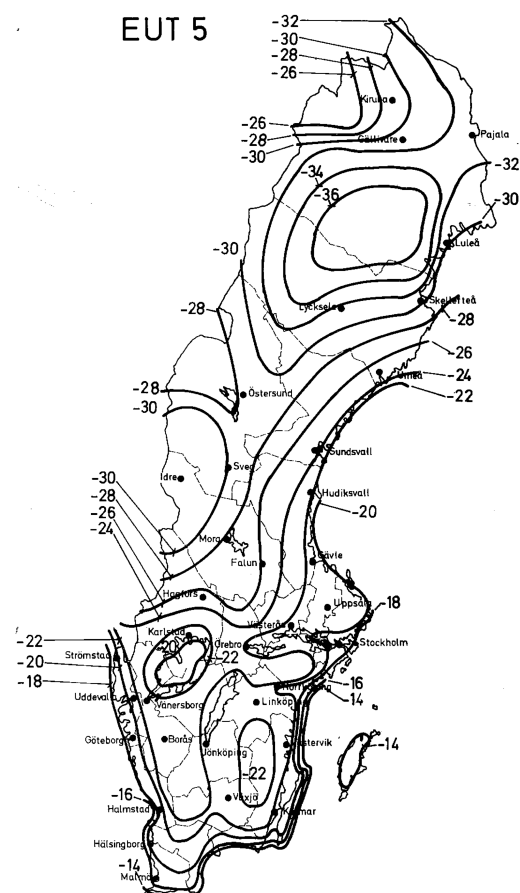
Tabell 2 U-värden

	Tak	Ytterväggar	Golv	Fönster	Dörr
U-värde (W/m ² K)	0,1	0,25	0,2	1	0,9

Baserat på dessa värden samt ventilationsförluster beräknas det totala effektbehovet per hus och grad uppgå till 0,145 kW/°C.

2.3.1 Dimensionerande utetemperatur

Produktionsanläggningarna i ett fjärrvärmesystem måste dimensioneras för att klara av att leverera tillräckligt hög effekt till kunderna, även under vinterns kalla dagar. För att bestämma effektbehovet använder man sig av en dimensionerande utetemperatur, FDUT. Den utetemperatur som rekommenderas att vara dimensionerande för ett fjärrvärmesystem är EUT5, vilket är den lägsta medeltemperatur över 5 dygn som förekommer under en 30-årsperiod (Fredriksen & Werner, 1993). För Västergötland är denna temperatur mellan -18 och -22°C beroende på läge. Här används -20°C.



Figur 1 EUT5. Lägsta medeltemperatur över 5 dygn under en 30-årsperiod. (VVS-tekniska föreningen, 1974)

2.3.2 Effektbehov varmvatten

Effektbehovet för varmvatten är svårare att bestämma då det är en social värmelast. Enligt Fredriksen & Werner (1993) kan dock varmvattenbehovet dimensioneras som 15 % av det totala effektbehovet vid dimensionerande utetemperatur. I detta fall skall dock fjärrvärmenätet förse ett område med moderna hus med lågt behov av uppvärmning. Att husen är moderna påverkar inte varmvattenbehovet i någon större utsträckning, utan det kan antas att de boende i moderna hus använder varmvatten i ungefär motsvarande

mängd som boende i mindre moderna hus. Därför används här ett effektbehov för varmvatten på 20 % av det totala effektbehovet vid dimensionerande utetemperatur. Detta ger samma varmvattenbehov som för en genomsnittlig villa som gör av med 18 000 kWh/år och där 15 % av totala effektbehovet används.

2.3.3 Maximalt effektbehov

Utifrån ovanstående data kan områdets maximala effektbehov beräknas. Distributionsförlusterna har antagits till 10 % och pannverkningsgraden till 90 %.

Tabell 3 Maximalt effektbehov

Dim. Ute-temperatur	Inne-temperatur	Delta T	Effekt-behov / grad & hus	Effekt-behov / hus	Totalt effektbehov värme exkl. förluster (kW)	Effektbehov varmvatten % av effektbehov panna	Effekt-behov varmvatten (kW)	Totalt effektbehov värme + varmvatten	Effekt-behov panna (kW)	Effekt-behov bränsle (kW)
-20	17	37	0,145	5,365	5365	20	1533	6898	7664	8516

Utifrån dessa beräkningar kan vi se att det behövs en total panneffekt på ca 7,7 MW

2.3.4 Effektbehov sommartid

Mitt i sommaren är utemperaturerna generellt så höga att det inte finns något uppvärmningsbehov. Dock måste fortfarande en viss värmeproduktion ske för att tillgodose varmvattenbehovet. Det maximala varmvattenbehovet kan anses vara konstant under året. Även distributionsförlusterna är relativt konstanta över året, mätt i absoluta tal. Generellt kan dock sägas att de är något lägre sommartid på grund av dels en något lägre framledningstemperatur och dels en högre temperatur i marken. Här beräknas distributionsförlusterna vara 90 % av distributionsförlusterna vid dimensionerande utetemperatur.

Detta ger följande effektbehov, vilket är det maximala effektbehovet då ingen uppvärmning behövs.

Tabell 4 Effektbehov sommartid

Effektbehov varmvatten (kW)	Effektbehov distributions-förluster (kW)	Totalt effektbehov (kW)
1533	690	2223

Varmvattenbehovet varierar dock under dygnet. Det är generellt som störst på morgonen, då många människor exempelvis duschar inom en kort tidsrymd innan jobbet. Vid andra tidpunkter kan varmvattenbehovet vara i princip noll, exempelvis mitt i natten. Fjärrvärmesystemet måste dimensioneras så att det inte bara klarar av det största effektbehovet, utan också att det klarar av det lägsta, vilket består av enbart distributionsförlusterna.

2.4 Energibehov

Energibehovet i systemet kan beräknas utifrån det tidigare beräknade värmebehovet per grad och hus, 0,145 kW/°C samt med hjälp av graddagtal för regionen.

Att beräkna energibehovet för varmvatten är återigen svårare, men Energimyndigheten uppskattar varmvattenbehovet till 20 % av det totala energibehovet. Precis som beskrivet i samband med effekt för varmvattenproduktion, så minskar dock inte varmvattenbehovet nämnvärt på grund av att husen är moderna. Boende i moderna hus antas använda varmvatten i samma utsträckning som boende i mindre moderna hus. Snålspolande kranar kan tänkas minska behovet en del, men sociala faktorer såsom antal boende i husen, duschvanor osv. har en större påverkan och variationen i varmvattenanvändning kan vara stor. Varmvattenbehovet beräknas här som 20 % av 18 000 kWh, vilket är en genomsnittlig energiförbrukning för en villa.

2.4.1 Graddagtal

Graddagtal är ett begrepp som används för att beskriva hur värmelasten varierar med utetemperatur. Mängden värme som behöver produceras är proportionell mot utetemperatur. Normalt är en innetemperatur på 20-21°C önskvärd. Apparatur och personer i byggnaden genererar dock en del värme, så kallade interna värmetillskott, och vanligtvis används gränsvärdet 17°C för när en genomsnittlig byggnad behöver extra tillskott av värme. Detta kallas för den effektiva innetemperaturen. Graddagtal är summan av differensen mellan den verkliga temperaturen och den effektiva innetemperaturen för alla dagar då utetemperaturen är lägre än den effektiva innetemperaturen. Genom att jämföra graddagtalet för ett specifikt år med det genomsnittliga graddagtalet under en längre period, normalgraddagtalet, kan värmelast från olika år jämföras med varandra utan att temperaturskillnader från år till år påverkar jämförelsen.

Med hjälp av dessa uppgifter är det möjligt att beräkna energibehovet.

Tabell 5 Beräknat energibehov baserat på normalgraddagtal (SMHI, 2008) och husens värmebehov/grad, varmvattenbehov samt produktions- och distributionsförluster.

	Normal-graddagtal	Energibehov värme /hus exkl. förluster (kWh)	Energibehov varmvatten /hus exkl. förluster	Energibehov/ hus inkl. förluster (kWh)	Totalt energibehov inkl. förluster (MWh)
Jan	601	2091	300	2952	2952
Feb	550	1914	300	2733	2733
Mar	511	1778	300	2566	2566
Apr	356	1239	300	1900	1900
Maj	143	498	300	985	985
Jun	9	31	300	409	409
jul	0	0	300	370	370
Aug	11	38	300	418	418
Sep	149	519	300	1011	1011
Okt	332	1155	300	1797	1797
Nov	442	1538	300	2269	2269
Dec	554	1928	300	2751	2751
Totalt	3658	12730	3600	20160	20160

Värt att notera är att detta är energibehovet för ett normalår. Energibehovet från år till år kan vara både högre och lägre beroende på vädret under det aktuella året.

2.5 Planering av anläggningen

Enligt ovanstående beräkningar är det maximala effektbehovet för området 7,7 MW, och det minimala effektbehovet 0,7 MW. En biobränslepanna går generellt bra att köra ner till ca 25 - 30 % av sin effekt, men lägre än så fungerar de dåligt. För att få ett bra fungerande system är det därför rimligt att använda två pannor, en mindre som går när det behövs låga effekter på sommaren, och en större som kan gå under större delarna av året när effektbehovet är lite större. I de fall där det är riktigt kallt kan båda köras samtidigt.

Det finns flera olika möjligheter att planera systemet. Ett vanligt sätt är att planera för 65-70 % av effekten med biobränslepannor, och sedan installera en oljepanna som spetslast. Då kan omkring 90 % av energibehovet produceras med biobränsle, eftersom temperaturerna sällan är så låga att oljepannan behövs. En oljepanna har också fördelen framför en biobränslepanna att den är snabb att starta och stanna, och därför kan sättas i drift väldigt snabbt då den behövs.

Det går också att planera systemet så att två biopannor täcker hela det maximala effektbehovet. Detta är sannolikt ett ekonomiskt dyrare alternativ men gör att hela produktionen kan ske med biobränsle.

I detta scenario väljs alternativet med två biobränslepannor för att kunna ha en produktion helt fri från fossila bränslen.

Tabell 6 Två exempel på anläggningar

Panna	Driftområde		Panna	Driftområde
Biobränsle 5,5 MW	1,4-5,5 MW		Biobränsle 5,5 MW	1,4-5,5 MW
Olja 2,5 MW	0-2,5 MW		Biobränsle 2,5 MW	0,65-2,5 MW
Total produktionskapacitet	8 MW			8 MW

Det är också viktigt att ha en reservenhet som är minst lika stor som största enheten i systemet, så att produktionen inte upphör vid ett fel i någon av pannorna. I detta fall behålls den tidigare naturgaspannan som reservenhet.

3 Bränsle

Ett typiskt svenskt lantbruk idag består av både jordbruksmark och skogsmark. Därför kan bränsle från skogen vara ett alternativ för lantbruket att driva ett värmeverk med eget bränsle. Bränsle kan då komma från dels gallring i skogen, och dels från avverkningsrester, grot, vid slutavverkning.

3.1 Bränslebehov

Trä är ett inhomogent material och dess värmevärde kan variera en hel del. Ett typiskt värde på det kalorimetriska värmevärdet på trä är dock 20,4 MJ/kg TS (Ringman, 1995), vilket används för nedanstående beräkningar. Det använda värmevärdet tar hänsyn till bränslets askinnehåll. På grund av variationen i värmevärde hos trä är dock dessa siffror endast riktvärden.

Det kalorimetriska värmevärdet anger energiskillnaderna mellan bränslet och förbränningsprodukterna. Vid förbränning av flis försvinner dock en viss mängd energi i form av vattenånga i rökgaserna. Det effektiva värmevärdet tar även hänsyn till vattnets ångbildningsentalpi, och är beroende av bränslets sammansättning och fukthalt. Det effektiva värmevärdet kan beräknas genom

$$W_{eff} = W_k - 2,45 \cdot 0,09 \cdot H_2 - 2,45 \cdot \frac{fh}{100 - fh}$$

W_{eff} =Effektiva värmevärdet

W_k = Kalorimetriska värmevärdet

H_2 = Väteinnehållet i bränslet i procent

fh = Fukthalt i procent

Faktorn 2,45 MJ/kg TS är den energimängd som krävs för att förånga vatten, och faktorn 0,09 kommer av att en del väte och åtta delar syre förenar sig till nio delar vatten. (Ringman, 1995)

För ett bränsle med 45 % fukthalt och väteinnehåll på 6 % fås då det effektiva värmevärdet:

$$W_{eff} = 20,4 - 2,45 \cdot 0,09 \cdot 6 - 2,45 \cdot \frac{45}{100-45} = 17,07 \frac{MJ}{kg TS} = 4,74 \frac{kWh}{kg TS} \rightarrow 2,61 \frac{kWh}{kg}$$

Bulkdensiteten för flis från grot med 45 % fukthalt är 320 kg/m³s^[1] (Ringman, 1995) vilket ger

$$320 \frac{kg}{m^3 s} \cdot 2,61 \frac{kWh}{kg} = 835 \frac{kWh}{m^3 s}$$

Utifrån ovanstående kan det behovet av flis beräknas för ett normalår. Resultat redovisas i Tabell 7, uttryckt i olika enheter.

Tabell 7 Bränslebehov, uttryckt i olika enheter

	GWh	ton TS	ton (45 % fukthalt)	m ³ s (45 % fukthalt)
Bränslebehov	20,16	4250	7725	24150

^[1] m³s = kubikmeter stälpt mått. Avser volymen av flis, inklusive luft, i en stack.

3.2 Skogsbruk och skogsbränsleuttag

Den grundläggande principen för skogsskötsel är att planera hur skogen skall utnyttjas. Skogens värden kan beskrivas i både prissatta och icke prissatta värden. Ett exempel på ett icke prissatt värde kan vara rekreativevärdet av skogen. I praktiken är det dock framförallt de ekonomiska värdena som styr planeringen av skogsskötseln. Skogsbränsle är i första hand en restprodukt i traditionell skogsskötsel, och planeringen av skogsskötsel sker utifrån övriga sortiment. (Skogsstyrelsen, 2008a)

3.2.1 Typer av skogsbruk

Det finns många olika sätt att bedriva skogsbruk. Dels skiljer man på högskogsskötsel och lågskogsskötsel. I högskogsskötsel, vilket är det fullständigt dominerande i svenskt skogsbruk, avverkas träden först när de har nått sin fulla höjd. Motsatsen är lågskogsskötsel, vilket innebär att träden avverkas så fort de nått en given storlek. Detta kan ofta ske inom ett par år. Energiskogsodling är ett exempel på lågskogsskötsel.

Vidare skiljs det på trakthyggesbruk och blädningsbruk. Med blädningsbruk eftersträvas en fullskiktad skog, det vill säga en skog där det finns träd av all höjder. Detta åstadkoms genom återkommande gallringar, blädningar, vilka utförs på ett sådant sätt att alla trädhöjder finns kvar. Trakthyggesbruk däremot är ett skogsskötselsystem som eftersträvar en enkelskiktad skog, där alla träd har ungefär samma höjd och det finns ett tydligt krontak. Skogen sköts under uppväxten genom röjning och gallring på ett sådant sätt att träden är jämnstora. Trakthyggesbruk är den dominerande skogsskötselformen i Sverige och den skogsskötselmetod som beskrivs framöver.

3.2.2 Trakthyggesbrukets faser

Trakthyggesbruk följer samma princip som en klassisk jordbruksföljd, men under en mycket lägre period. Trakthyggesbrukets faser är föryngringsfasen, ungsogsfasen, gallringsfasen och slutavverkningsfasen.

3.2.2.1 Föryngringsfasen

Föryngringsfasen innebär att ett nytt skogsbestånd etableras, istället för det bestånd som avverkats. Föryngring kan ske med aningen naturlig föryngring, då naturligt fröfall utnyttjas, eller artificiell föryngring, där skogsägaren antingen sår frön eller planterar plantor. Plantering är det vanligaste föryngringssättet i Sverige.

3.2.2.2 Ungskogsfasen

Ungskogsfasen definieras som tiden mellan att plantorna når över brösthöjd och till att de passerar en medelhöjd på 7 meter. Under den här perioden sker röjning i skogen. Röjning innebär en utglesning av skogen, utan att virket tas tillvara. Syftet med att röja är att koncentrera tillväxten på ett lägre antal träd, och på så vis få en jämnare och grövre medelstamsvolym i virkessortimentet. Produktionen av virke som kan tas tillvara i slutavverkning blir generellt högre genom röjning.

Generellt tas inte något virke ut ur skogen vid röjning utan allt får ligga kvar på platsen. Det finns en viss potential för uttag av skogsbränsle i samband med röjningar, men uttagspotentialen är relativt låg och kostnaderna för att ta ut bränslet ur skogen överstiger ofta inkomsterna från bränslet. I eftersatta röjningar kan det dock vara lönsamt att ta ut skogsbränsle (Skogsstyrelsen, 2009). I denna rapport beaktas inget skogsbränsleuttag från röjning.

3.2.2.3 Gallringsfasen

Gallringsfasen infaller från det att trädens medelhöjd är 7 meter till träden har nått full höjd. Gallring innebär, liksom röjning, att tillväxten koncentreras på färre träd, med skillnaden att virket tillvaratas vid gallring. Gallring utförs oftast selektivt, där skogsskötaren väljer ut vilka träd som ska gallras utifrån hur

träden ser ut och är fördelade i skogen. Målet är att i huvudsak behålla träd som ha stor potential att utvecklas till fullstora träd av hög kvalitet och att dessa är rumsligt så jämnt fördelade som möjligt.

Det tas idag inte ut några större kvantiteter skogsbränsle vid gallring, men det finns en klar potential att på ett lönsamt sätt ta ut grenar och toppar, långa toppar eller hela träd till skogsbränsle vid gallring.

3.2.2.4 Slutavverkningsfasen

Slutavverkningsfasen är sista fasen i trakthyggesbrukets cykel och den infaller när träden är fullstora och redo för skörd. I slutavverkningen avvecklas den gamla skogen för att göra plats för en ny generation. Eftersom slutavverkningen direkt följs av en ny förnygringsfas, och faserna ofta överlappar varandra, benämns den ibland som förnygringsavverkning. Slutavverkning kan ske på olika sätt, antingen genom kalhuggning eller skärmställning. Kalhuggning innebär att hela beståndet avverkas på en gång. Dock måste fröträd lämnas kvar om beståndet skall förnyas med naturlig förnygring. Skärmställning innebär i princip en mycket hård gallring av skogen men inte så hård att det blir kalmark. Skärmen glesas sedan ut ytterligare en eller två gånger innan den avverkas helt.

Det är i slutavverkning som skogsbränsleuttag främst praktiseras idag, och det är också där de största potentialerna finns. Uttag av skogsbränsle sker främst i form av grot. Det finns även ett ökat intresse för uttag av stubbar till skogsbränsle i samband med slutavverkning, men verksamheten är främst på försöksstadiet. Uttag av stubbar beaktas inte i den här rapporten.

3.3 Arealbehov

I det beskrivna scenariot skall värmeverket förses med bränsle från lantbrukarkooperativets egen skog. Hur mycket bränsle som går att ta ut ur skogen beror på många faktorer, såsom markens bördighet, förhållandet mellan trädslag i skogen, skogens täthet osv. Det är därför svårt att ange hur stora arealer skog som krävs utan att beräkna data i ett aktuellt fall. Nedan görs dock vissa uppskattningar baserat på statistik (Skogsstyrelsen 2012), potential enligt Skogsstyrelsen (Skogsstyrelsen 2008b) samt med beräkningsprogrammet Flis av Flis (Skogforsk, 2011).

3.3.1 Statistik

Ur Skogsstatistisk årsbok (Skogsstyrelsen, 2012) går att avläsa hur stora arealer som anmälts för uttag av grot, samt hur stora mängder grot som har tagits ut. Olyckligtvis är inte arealerna uppdelade på gallring och slutavverkning så de data som kan beräknas är endast ett gemensamt värde för de båda åtgärderna. Detta ger inte mycket vägledning om hur stora arealer som krävs totalt, men värdena redovisas ändå i Tabell 8 för jämförelse.

Tabell 8 Statistik över arealer med skogsbränsleuttag, samt uttagna mängder skogsbränsle 2007-2010, i gallring och slutavverkning (Skogsstyrelsen, 2012)

	2007	2008	2009	2010	Medel
Total areal (ha)	90680	88 556	115 095	155 063	112 349
Uttag av skogsbränsle (1000 m ³ s)	5995	5 012	5 704	7 099	5 953
Uttag/ha (m ³ s)	66	57	50	46	53
Uttag/ ha (ton TS)	11,6	9,9	8,7	8,0	9,3

3.3.2 Potential

Rapporten Skogliga konsekvensanalyser (Skogsstyrelsen, 2008b) beskriver potentialen för skogsbränsleuttag i Sverige vid gallring och slutavverkning. Potentialen är uppdelad i tre nivåer:

Nivå 1: Inga restriktioner. Redovisad mängd biobränsle avser allt biobränsle som faller ut vid avverkningen.

Nivå 2: Inkluderar ekologiska restriktioner såsom torvmarker, blöta marker eller marker inom 25 meter från annat ägoslag än produktiv skogsmark. 20 % av mängden grot har lämnats kvar.

Nivå 3: Inkluderar utöver ekologiska restriktioner även tekniska och ekonomiska restriktioner såsom mark med stark lutning eller svår ytstruktur, eller mycket små bestånd. Ytterligare 20 %, totalt 40 % grot har lämnats kvar. Detta motsvarar enligt rapporten dagens nivå på tillvaratagande i praktisk drift.

Rapporten redovisar tillgänglig årlig areal för slutavverkning och gallring över hela landet för respektive nivå, samt potentiellt skogsbränsleuttag för denna yta. Ur dessa data har ett potentiellt skogsbränsleuttag per hektar beräknats, vilket kan ses i Tabell 9. Även ett sammanvägt värde för slutavverkning och gallring har beräknats för jämförelse med de statistiska värden beskrivna ovan.

Tabell 9 Potential för skogsbränsleuttag (Skogsstyrelsen, 2008b)

	Slutavverkning			Gallring			Slutavv. + Gallring		
	Nivå 1	2	3	1	2	3	1	2	3
Årlig areal (1000 ha)	232	204	169	379	328	283	611	532	452
Årlig potential (Mton TS)	7,42	5,11	3,16	3,93	2,66	1,72	11,35	7,77	4,88
Potential/ha (ton TS)	32,0	25,0	18,7	10,4	8,1	6,1	18,6	14,6	10,8

3.3.3 Beräkningar

Skogforsk tillhandahåller ett beräkningsprogram, Flis av Flis (Skogforsk, 2011). Med hjälp av detta program kan möjligt skogsbränsleuttag ur slutavverkning, gallring och röjning beräknas för ett aktuellt bestånd. För att få tillförlitliga resultat krävs naturligtvis att tillförlitliga ingångsdata för den aktuella skogen matas in i programmet. Då detta examensarbete inte behandlar ett specifikt fall har beräkningar baserade på basdata ur programmet för en skog i södra Sverige gjorts. Beräkningar har gjorts för bestånd med 100 % tall och 100 % gran och med en uttagsgrad av grot på 60 % respektive 80 %, vilket alltså motsvarar nivå 3 respektive nivå 2 (Skogsstyrelsen, 2008b) som beskrevs ovan, och redovisas i Tabell 10. På samma sätt har beräkningar för gallring gjorts, för en gran- respektive talldominerad skog med basdata från programmet. I gallringsstadiet finns det inslag av andra trädslag i beståndet. Beräkningar har gjorts med 60 % respektive 80 % uttag av grot och där 20 % av stamveden beräknas vara så klen att den går till skogsbränsle. Detta redovisas i Tabell 11.

Tabell 10 Skogsbränsleuttag vid slutavverkning beräknade med Flis av Flis (Skogforsk, 2011)

Trädslag	100 % Tall	100 % Tall	100 % gran	100 % gran
Ålder	70 år	70 år	70 år	70 år
Stammar/ha	550	550	650	650
Ståndortsindex ^[2]	T24	T24	G30	G30
Uttagsgrad	60%	80%	60%	80%
Uttag /ha (ton TS)	19,1	25,5	26,9	35,9

^[2] Ståndortsindex är ett mått på markens produktionsförmåga och anger den höjd i meter som de grövsta träden antas kunna uppnå vid 100 års ålder (Skogforsk, 2012)

Tabell 11 Skogsbränsleuttag vid gallring beräknade med Flis av Flis

Trädslag	75 % Tall 17 % Gran 8 % Löv	75 % Tall 17 % Gran 8 % Löv	89 % Gran 11 % löv	89 % Gran 11 % löv
Ålder	35 år	35 år	31 år	31 år
Stammar/ha	1800	1800	1900	1900
Ståndortsindex ^[2]	T24	T24	G30	G30
Uttagsgrad	60% grot 20 % stam	80% grot 20 % stam	60% grot 20 % stam	80% grot 20 % stam
Uttag /ha (ton TS)	6,7	7,8	8,5	9,9

3.3.4 Sammanfattning arealbehov

Det statistiska uttaget av skogsbränsle 2007-2010 är något lägre, men stämmer ändå relativt väl överens med skogsstyrelsens beräknade potential för uttag av skogsbränsle. Dessa beräkningar grundar sig på data från hela Sverige.

Beräkningarna som har gjorts med programmet Flis av Flis är gjorda med grunddata från södra Sverige och ger väl samstämmiga data med skogsstyrelsen beräknade potential för en skog med 100 % tall. En skog med 100 % gran ger enligt beräkningarna betydligt högre uttag av skogsbränsle, eftersom gran har betydligt mer biomassa i sina grenar än vad tall har.

Utifrån ovanstående data kan en uppskattning av arealbehovet för att kontinuerligt försörja värmeverket göras. Det årliga bränslebehovet är 4250 ton TS. Med en rotationstid på 70 år och med uttag av grot vid en gallring samt slutavverkning blir arealbehovet i storleksordningen mellan 6 500 ha för en grandominerad skog och 80 % uttag av grot i gallring och slutavverkning till 12 000 ha för en talldominerad skog och 60 % uttag av grot i gallring och slutavverkning. Då beräknas slutavverkning respektive gallring ske på 90-170 ha vardera varje år.

3.4 Logistik

Värmeverket måste förses med bränsle kontinuerligt. När bränsle köps in sluts ett avtal med en leverantör som ser till att bränsle hela tiden levereras i lagom takt. I detta scenario är det dock ingen leverantör som sköter den kontinuerliga leveransen av bränsle, utan värmeverket skall förses med bränsle från den egna skogen. Detta ställer stora krav på logistiken för att säkra bränsletillgången. Den aktuella skogen antas bestå av blandade åldrar så att det varje år finns tillräcklig mängd avverkningsfärdig skog och skog för gallring.

3.4.1 Avverkning, skotning och lagring i skogen

Avverkningen bör vara en bränsleanpassad avverkning, vilket innebär att avverkningsresterna liksom massaved och timmer läggs upp i högar längs körvägen i terrängen. Detta underlättar vidare lastning och transport av bränslet och minskar mängden grus och sten i bränslet. Högarna får sedan gärna ligga kvar på hygget en tid och torka, samtidigt som så mycket barr som möjligt gärna skall falla av och stanna på hygget. Skogsbränslet transporteras därefter med skotare till närmsta bilväg och lagras där i vältor.

Hur långa terrängtransporter som krävs beror helt på hur stora avstånden är till närmsta väg i det aktuella skogsområdet. I beräkningarna i denna rapport används ett medelavstånd vid skotningen på 300 meter.

Vältorna kan täckas med papp för att skydda mot regn och snö och hindra återfuktning. Lagring i täckta vältor ger mycket små substansförluster hos bränslet, endast ett fåtal procent vid säsongslagring (Lehtikangas, 1999).

3.4.2 Flisning

Flisningen beräknas utföras av entreprenör med mobila flisningsaggregat direkt till en containerbil, på plats i skogen vid 6-7 tillfällen under året. Anledningen till att flisningen bör utföras av entreprenör i det här fallet är att kapitalkostnaderna för flishugg/containerbil inte anses rimliga för en så pass liten mängd som det är frågan om. Utnyttjandetiden för sådana maskiner skulle bli mycket låg.

3.4.3 Bränsletransporter

Bränsletransporter sker med containerbil direkt från skogen till värmeverket när flisning har skett. I det givna scenariot är det kooperativ av lantbrukare som äger och driver värmeverket. Härmed antas att lantbrukarna/skogsägarna, och därmed även skogsmarken finns i värmeverkets närområde. Detta innebär att transportavståndet mellan skogen och värmeverket inte är så långt. I beräkningarna har ett medelavstånd på 35 km använts.

3.4.4 Lagring

Med det beskrivna systemet med lagring av bränslet i vältor i skogen och flisning vid 6-7 tillfällen per år krävs även ett lager av flis om 4-5000 m³s i anslutning till värmeverket. Lagret utformas som 4 limpor 60·8·3 meter, och en total lagringsyta på 70·80 meter.

Vid lagring av bränsleflis i stackar uppstår energiförluster vid längre lagringstider. Vid försök har energiförluster på 5-10 % uppmätts vid lagring i 8 månader (Lehtikangas, 1999). Med det beskrivna scenariot kommer den genomsnittliga lagringstiden variera mellan 3 och 10 veckor. På grund av de korta lagringstiderna bortses från dessa energiförluster i beräkningarna.

Med detta system för lagring av flis krävs det även en lastmaskin för att förflytta bränsle från lagret utanför värmeverket till bränslefickan.

4 Askhantering

Vi förbränning av biobränsle bildas aska som restprodukt. Aska är oorganiska obrännbara föreningar och består av mineralämnen som trädet har tagit upp ur marken. Askhalten varierar beroende på flera faktorer såsom trädslag, trädets ålder och växtplats, samt inom trädets olika delar. Askhalten av torr vikt är i stamved ungefär 0,4-0,7 %, i bark 1,5-4 % och i grenar 1-2 %. Gran har generellt en högre askhalt än tall (Lehtikangas, 1999). Med en antagen genomsnittlig askhalt på 2 % i skogsflis från grot produceras således i det givna scenariot årligen ungefär 85 ton torr aska.

Askan måste på något vis tas om hand. Aska kan till exempel användas för att täcka deponier och på så sätt hindra läckage av miljöfarliga ämnen från deponin. Behovet av täckmaterial för deponier minskar dock efterhand som landets deponier sluttäcks och inom en tioårsperiod beräknas behovet ha upphört (Svenska Energiaskor, 2013). Aska kan även användas som fyllnadsmaterial vid exempelvis väg- och hamnbyggen.

Aska är också en resurs som kan minska miljöpåverkan av biobränsleuttag i skogen och återföra näring till skogsmark (se avsnitt 6.2.2).

4.1 Askåterföring

Skogsstyrelsen rekommenderar återföring av aska till skogen om skogsbränsleuttaget motsvarar mer än ett halvt ton aska per hektar under en omloppstid. (Skogsstyrelsen, 2008c) Askåterföring är inte särskilt vanlig idag, då andra metoder att göra sig av med askan kostar mindre. I detta scenario tas dock skogsbränslet ur lantbrukarkooperativets egen skog, och att minska försurningen och återföra näringsämnen till skogen för bättre tillväxt borde ligga i skogsägarens intresse och vara ett incitament för att ta den ökade kostnaden med askåterföring.

All aska, även aska från biobränslen, innehåller en viss mängd föroreningar såsom tungmetaller. Skogsstyrelsens rekommendationer för askspridning innebär att en spridbar aska inte innehåller mer tungmetaller än de som fanns i träden från början och som skulle ha hamnat i skogen om träden hade fått ligga kvar.

4.1.1 Härdning och askkvalitet

Aska som ska spridas på skogsmark måste vara härdad för att inte orsaka skador på vegetationen och så att askan löses upp långsamt. Ett riktvärde är att det ska ta 5-25 år för askan att lösas upp. En dåligt härdad aska kan ge frätskador på vegetationen. Framförallt vitmossor är känsliga mot detta. Löses askan upp för snabbt riskerar dessutom den tillförda näringen att lakas ut. Askan kan antingen härddas genom tillsats av vatten och mekanisk bearbetning, eller genom tillsats av vatten och självhärdning samt krossning. Askan måste testas för att kontrollera att den uppfyller Skogsstyrelsens krav innan den kan återföras.

Askan testas även för näringsinnehåll. För att ge önskad effekt i skogen måste askan innehålla tillräcklig mängd med näringsämnen. Skogsstyrelsen har satt upp minimihalter för innehåll av näringsämnen, och om dessa inte uppfylls är det möjligt att tillföra ytterligare näring till askan innan den sprids. Det finns även regler för vilka halter av tungmetaller i askan som inte får överskridas. Askan får inte heller innehålla för höga halter av cesium. Detta är dock främst ett problem för aska från skog i de områden som drabbades av radioaktivt nedfall från Tjernobyl, och inte aktuellt i det här scenariot.

4.1.2 Dosering

Doseringen av askgivan bör bestämmas för att kompensera för den försurningsverkan och för den totala bortförelsen av baskatjoner som skogsbränsleuttaget medfört. Allt för höga doser av aska medför dock negativa miljöeffekter, varför rekommendationerna är att inte återföra mer än 3 ton TS per hektar och

tioårsperiod. Detta är dock oftast mer än väl för att fullständigt kompensera för skogsbränsleuttaget. 1,5-2 ton TS per hektar är en normal giva (Skogsstyrelsen, 2008c).

4.1.3 Spridning

Spridning av aska kan ske antingen som markspridning med traktor med spridningsaggregat eller modifierad skotare eller som helikopterspridning. Markspridning är det vanliga. Helikopterspridning är dyrt och används sällan, men kan vara aktuellt i bestånd där markförhållandena gör markspridning svår, exempelvis vid kraftig lutning eller blockterräng. Markspridning är det som främst används.

Själva spridningen skall utföras på ett sådant sätt att skador på mark och vegetation undviks. Det innebär bland annat att spridningen skall ske så jämnt som möjligt och att spridning inte får ske på eller i anslutning till känsliga marker såsom vattendrag, våtmarker och tomtmark. Försiktighet bör även iakttas för att undvika körsador på marken.

5 Ekonomi

Ekonomi är av avgörande betydelse för om ett projekt skall bli av. I detta avsnitt redovisas en ekonomisk kalkyl för scenariot. En anläggning bestående av två pannor, där den totala produktionen kan ske med biobränsle har använts i kalkylen.

De flesta kostnaderna i kalkylen är baserade på uppskattningar. Trots detta redovisas kostnader i tabellerna med många värdesiffror. Detta har gjorts för att inte introducera avrundningsfel i beräkningarna.

5.1 Investeringskalkyl

Investeringen består av själva förbränningsanläggningen, kostnad för marken som anläggningen står på och mark för bränslelager samt en lastmaskin för bränslehantering.

5.1.1 Förbränningsanläggningen

Förbränningsanläggningen består av två pannor, 5,5 MW och 2,5 MW, inklusive bränslehantering och askhantering. En uppskattad investeringskostnad för en nyckelfärdig anläggning på 5 miljoner kronor/MW har erhållits från Osby Parca AB (Johannesson, 2013). Total investering för anläggningen blir då 40 miljoner kronor.

5.1.2 Mark

Arealbehovet för bränslelager uppskattas till 70·80 m (Se avsnitt 3.4.4). Arealbehovet för själva anläggningen uppskattas till ca 30·30 meter för själva byggnaden med 10 meter fri yta runt omkring.

Kostnader för industrimark varierar stort, beroende på var den ligger. En uppskattning av rimligt pris på industrimark i en mindre kommun har gjorts utifrån en prisundersökning för kommunal mark utförd av Svenska Kommunal-Tekniska Föreningen (2010).

Även kostnader för markarbeten varierar stort, beroende på markförhållanden på platsen. De kostnader som använts i beräkningen är därför väldigt osäkra. Här förutsätts att de enda markarbeten som behövs är viss avjämning av marken, samt asfaltering. Asfaltering krävs inte av den areal där själva byggnaden står. Även de yttersta 5 meterna runt om anläggningen lämnas utan asfalt för dräneringens skull.

Tabell 12 Arealbehov mark (m²)

Arealbehov anläggning	2500
Arealbehov bränslelager	5600
Totalt arealbehov	8100
Asfalterad areal	5600

Tabell 13 Kostnader markarbeten

		Kostnad
Inköpspris mark (kr/m ²)	50	405000
Avjämning av mark (kr/m ²)	30	243000
Asfaltering av mark (kr/m ²)	100	560000
Total kostnad (kr)		1208000

5.1.3 Lastmaskin

Då bränslet mellanlagras utanför värmeverket krävs förflyttning av bränslet från lagringsplatsen till bränslefickan. Till detta krävs en hjullastare med en skopa med stor volym. Arbetsvolymen för lastmaskinen uppskattas till 4 timmar i veckan. I beräkningarna uppskattas investeringen för en begagnad hjullastare med skopa till 400 000 kr. Då arbetsvolymen är så pass liten bedöms det som mer rimligt att köpa en begagnad lastmaskin, och på så vis minska investeringskostnaden.

5.1.4 Årlig kostnad för investeringen

Den årliga kostnaden för investeringen beräknas med hjälp av annuitetsmetoden. Som realränta beräknas 6 % och inflationen sätts till 2 % enligt inflationsmålet (Riksbanken, 2012), vilket ger en kalkylränta på 8 %.

Avskrivningstiden för marken sätts till 33 år, för anläggningen till 25 år och för lastmaskinen till 5 år.

Annuitetsfaktorn kan beräknas enligt:

$$k = \frac{p}{1 - (1 + p)^{-n}}$$

där

k = annuitetsfaktorn

p = kalkylräntan

n = ekonomisk livslängd

De årliga kostnaderna för investeringen redovisas i tabell Tabell 14.

Tabell 14 Årlig kostnad för investeringen

	Mark	Anläggning	Lastmaskin	Totalt
Avskrivningstid (år)	33	25	5	
Investering	1 208 000 kr	40 000 000 kr	400 000 kr	41 608 000 kr
Annuitetsfaktor	0,0869	0,0937	0,2505	
Årlig kostnad	104 917 kr	3 747 151 kr	100 183 kr	3 952 251 kr

5.2 Drift och underhåll

I drifts- och underhållskostnader ingår alla kostnader för anläggningens drift och skötsel. I normala fall är dessa lägre i början av anläggningens livstid och ökar efterhand.

Driftskostnaderna innefattar material och personalkostnader för underhåll och reparationer, kostnader för sotning, kostnader för drift av lastmaskinen samt kostnader för driftel.

Elförbrukningen har beräknats utifrån statistik från Oskarshamns värmeverk. Använd mängd driftel i förhållande till producerad värme var där 2,7 %. I detta scenario ger motsvarande elanvändning en elförbrukning på 490 MWh årligen.

Elpriset bestäms på den öppna marknaden och kan variera stort beroende på det aktuella effektbehovet och tillgången. Elpriset har beräknats som ett fem års medelvärde av spotpriset på elbörsen NordPool (NordPool Spot, 2013) under 2008-2012 och med tillägg för energiskatt (Svensk Energi, 2013) till

709,10 kr/MWh. Sverige delades i november 2011 upp i fyra elområden. Efter denna tidpunkt har data för elområde 3 använts, eftersom värmeverket i scenariot beräknas ligga i Västergötland, som tillhör elområde 3. Kostnaden för driftel uppgår då till ungefär 341 000 kronor årligen.

Övriga underhållskostnader har uppskattats till 1,4 miljoner kronor årligen, utifrån underhållskostnader vid värmeverket i Oskarshamn (Bergström, 2013).

5.3 Personalkostnader

För anläggningens skötsel och drift krävs personal för periodisk tillsyn samt jourverksamhet med beredskap för att ta hand om fel som uppstår. Anläggningen beräknas vara obemannad under övrig tid. Dessutom måste anläggningen administreras, vilket innebär hantering av personalkostnader, bokföring av reparationer, fakturering och så vidare. I en kooperativt driven anläggning är det lämpligt att jour och tillsyn sköts av flera personer som ingår i kooperativet.

Personalkostnaderna beräknas enligt data i Tabell 15 och baserar sig på uppskattade löner och tidsåtgång för olika arbetsuppgifter. För de administrativa uppgifterna beräknas en halvtidstjänst. Vidare beräknas timlönen var dubbelt så hög vid tidpunkter som infaller utanför ordinarie arbetstider. Fel beräknas inträffa när som helst under dygnet och timersättningen vid fel speglar förhållandet mellan tid som infaller under ordinarie arbetstid och tid som infaller under kvällar/nätter och helger. Personalkostnader för utförande av planerat underhåll och reparationer är inte medtagna här utan ingår i uppskattningen av kostnader för drift och underhåll.

Totalt beräknas personalkostnaderna uppgå till omkring 800 000 kronor årligen.

Tabell 15 Uppskattning av personalkostnader

		Kostnad/ år
Jourersättning	3500 kr/vecka	182000 kr
Tillsyn	1,5 h/dag	
Lön tillsyn, vardag	150 kr/h	56250 kr
Lön tillsyn, helg	300 kr/h	51750 kr
Bränslehantering	5 h/vecka	
Lön bränslehantering, vardag	150 kr/h	39000 kr
Fel	5 h/vecka	
Genomsnittlig lön vid fel	250 kr/h	65000 kr
Administration	12000 kr/mån	144000 kr
50 % tillägg för sociala avgifter o. dyl.		269000 kr
Total kostnad		807000 kr

5.4 Kostnader för bränsle

Beräkningarna av kostnader för bränslet baserar sig på att åtgärderna röjning, gallring och slutavverkning bär sina egna kostnader, och att det är restprodukterna från dessa verksamheter som blir flis. Bränslet bär således endast kostnaderna för skotning av grot, flisning och transport till värmeverket.

Marginalkostnader för skörd av grot vid föryngringsavverkningar har beräknats av Athanassiadis et. al. (2009). Samma kostnader används här för uttag av grot vid gallring.

5.4.1 Skotning

Kostnaden för skotning är linjärt beroende av terrängtransportavståndet och kan enligt Athandassiadis et al. (2009) beräknas enligt

$$S_k = 129,3 + 0,1879 \cdot A_s$$

där

S_k = kostnaden för skotning per ton TS

A_s = terrängtransportavstånd i meter, enkel väg

Skotningsavståndet beräknas här till 300 meter, vilket ger en kostnad på 185,67 kr/ton TS

5.4.2 Flisning

Kostnaden för flisning beräknas enligt Athandassiadis et. al till 166 kr/ton TS

5.4.3 Transportkostnad

Kostnaden för transport är linjärt beroende av transportavståndet och kan enligt Athandassiadis et al. (2009) beräknas enligt

$$VG_k = 25,9 + 1,65 \cdot A_{vgs}$$

där

VG_k = kostnaden för vägtransport av flis per ton TS

A_{vgs} = Avstånd för vägtransport i kilometer

Här används ett genomsnittligt transportavstånd på 35 km vilket ger en kostnad på 83,65 kr per ton TS.

5.4.4 Ställkostnader

Ställkostnad beräknas i Athanassiadis et. al. (2009) till 2500 kronor per flytt och maskin.

Skotning av grot sker en gång årligen. Ställkostnaderna beräknas då till 2500 kronor för framkörning av skotaren samt ytterligare 2500 kronor för kortare förflyttningar mellan hygena, totalt 5000 kronor.

Flisning sker i detta scenario vid sex tillfällen per år och ställkostnaderna beräknas då till 2500 kronor för framkörning flishugg till hygget samt ytterligare 2500 kronor för ett antal kortare förflyttningar mellan hyggen vid varje tillfälle.

5.4.5 Totala bränslekostnader

Det totala årliga behovet av bränsle är 4250 ton TS.

I Tabell 16 ses en sammanställning av kostnaderna för bränslet. Samtliga kostnader har här justerats upp från 2009 till 2012 års nivå med hjälp av konsumentprisindex, KPI (SCB, 2013).

Tabell 16 Kostnader för bränsle, justerade till 2012 års nivå

Skotning	194,67 kr/ton TS	827 369 kr/år
Flisning	174 kr/ton TS	739 500 kr/år
Transport	87,7 kr/ton TS	372 725 kr/år
Ställkostnader	5 243 kr/tillfälle	36 701 kr/år
Totalt		1 976 295 kr/år

5.5 Kostnader för askhantering

Kostnaden för askspridning med traktor med en giva på 1,5 ton TS per hektar anges av Segerud (2004) till 700 kronor per hektar, vilket då inkluderar kostnader för askhantering vid värmeverket, lagring, transport till skog och spridning. Med hjälp av konsumentprisindex (SCB, 2013) räknas denna kostnad upp från 2004 års nivå till 2012 års nivå till 788 kr/ton TS.

Med en årlig askproduktion av 85 ton TS uppgår kostnaden för askhantering då till 67 000 kronor.

5.6 Kostnader för distribution

I det givna scenariot ägs och drivs distributionsnätet utav ett fjärrvärmebolag och lantbrukarkooperativet levererar värme till kund som tredje part. Eventuella kostnader för distributionen har inte beaktats i denna rapport.

5.7 Inkomster

De inkomster som lantbrukarkooperativet har från fjärrvärmeverksamheten kommer från fjärrvärmeförsäljning till kund. Fjärrvärmepriser varierar relativt stort mellan olika fjärrvärmenät i landet och priserna sätts i lokala naturliga monopol.

I denna rapport används medelpriset för fjärrvärme i småhus för 2012 som riktlinje för inkomsterna. Medelpriset för fjärrvärme i småhus år var 84,83 öre/kWh inklusive moms (Svensk fjärrvärme, 2012). Priset exklusive moms är då 67,86 öre/kWh.

Levererad mängd fjärrvärme ett normalår i detta scenario är 16,33 GWh, vilket ger en inkomst på 11 miljoner kronor.

5.8 Resultat

Resultatet enligt ovanstående kostnads- och inkomstuppskattningar redovisas i Tabell 17.

Totalt sett blir den årliga vinsten drygt 2,5 miljoner kronor, eller 155 kronor per levererad MWh. En viss del av vinsten går dock till fjärrvärmebolaget som äger distributionsnätet. Detta har inte beaktats i rapporten då det är helt beroende av avtalet mellan lantbrukarkooperativet och fjärrvärmebolaget.

Tabell 17 Ekonomiskt resultat (kr)

	Per år	Per lev. MWh
<i>Utgifter</i>		
Investering mark	105 000	6
Investering anläggning	3 747 000	229
Investering lastmaskin	100 000	6
Drift och underhåll	1 400 000	86
Driftel	341 000	21
Personalkostnader	807 000	49
Bränslekostnader	1 976 000	121
Kostnader för askhantering	67 000	4
<i>Utgifter totalt</i>	8 543 000	523
<i>Inkomster</i>		
Försäljning av fjärrvärme	11 082 000	679
Resultat	2 539 000	155

6 Miljö

Miljö och klimat är idag viktiga frågor, och inom EU finns det så kallade 20-20-20 målet, som bland annat innebär att EU-länderna till år 2020 ska minska sina växthusgasutsläpp med 20 % jämfört med 1990 års nivå och att andelen förnybar energi i EU skall uppgå till 20 % (EU-kommissionen, 2012). Att byta ut fossila energikällor som naturgas mot förnybara energikällor som biobränsle är en viktig del i vägen mot detta mål.

6.1 Livscykelanalys

Livscykelanalys är en metod att bedöma miljöpåverkan för en produkt under hela dess livscykel, från råvaruutvinning till avfallshantering. Det går att studera många olika miljöaspekter med en LCA. I detta arbete studeras växthuseffekt, övergödning och försurning från utsläpp till luft.

6.1.1 Funktionell enhet

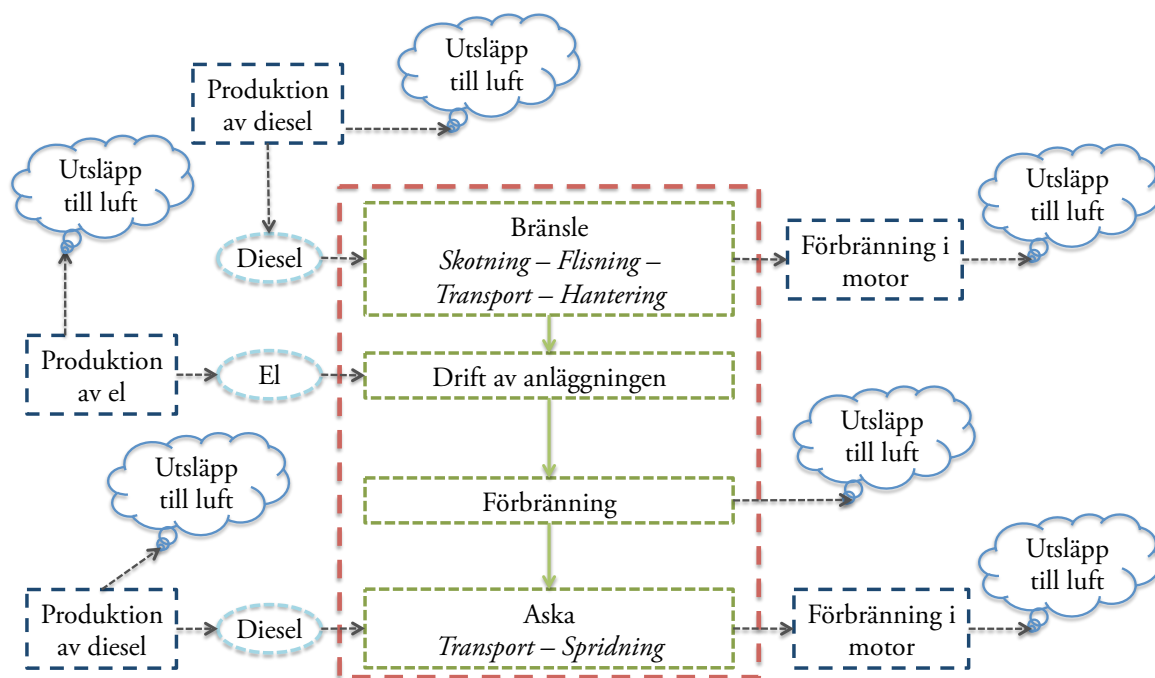
Som funktionell enhet för livscykelanalysen används 1 MWh levererad värme.

6.1.2 Avgränsningar

Denna livscykelanalys omfattar produktion av bränsle, transporter, drift av anläggningen, förbränning och avfallshantering. Byggnation och rivning av anläggningen, tillverkning av pannan, tillverkning av bilar och maskiner osv. behandlas inte.

6.1.3 Bioenergiscenario

I det beskrivna scenariot förekommer utsläpp i många steg i livscykeln, vilka beskrivs i Figur 2.



Figur 2 Bioenergiscenario - utsläpp under livscykeln

6.1.3.1 Bränsle

Bränslet i bioenergiscenariot består av skogsflis och kommer från lantbrukarkooperativets egen skog. För att bränslet skall nå värmeverket krävs det att skogen avverkas och att materialet transporteras i terrängen,

flisas och transporteras dit. Till detta krävs skogsmaskiner för skotning och flisning och containerbilar för transporten. Dessa förbrukar diesel vid användning och ger därför utsläpp.

Liksom beskrivet i avsnittet om ekonomi räknas i denna rapport skogsbränslet som en restprodukt vid avverkningen, och miljöbelastningen av avverkningen läggs därför på övriga avverkningssortiment. Skotning av skogsbränsle, flisning och transport av flis är däremot åtgärder som tillkommer på grund av skogsbränsleuttaget och miljöpåverkan från dessa åtgärder bör därför kopplas direkt till detta scenario. Bränslet måste även hanteras vid lagret vid värmeverket, vilket görs med en lastmaskin, som också den förbrukar diesel vid användningen.

Brunberg et. al. (2000) redovisar att bränsleförbrukningen för en skotare Valmet 860 är 8,4 l/timme i blandad körning. Samma modell av skotare har använts vid en studie av prestation vid grotskotning (Pettersson, 2006). Studien konstaterar att prestationen varierar mycket, 4-12 råton/timme, med ett medelvärde på 7,6 råton per timme. Vid 50 % fukthalt hos råmaterialet motsvarar detta 3,8 ton TS/timme. Dessa data är de som ligger till grund för beräkningarna för miljöpåverkan från skotning.

För beräkningarna för miljöpåverkan från flisning har bränsleförbrukningen 2,75 l/ton TS (Grönlund & Eliasson, 2012) använts.

Bränsleförbrukningen för en containerbil antas till 4,7 l/mil (Friberg & Hansson, 2012). Containerbilar är standardlastbilar med möjlighet att byta ut flak. En containerbil transporterar oftast tre containrar med en volym på 35-40 m³ vardera (Skogforsk, 2009). Totalt är ett lass således ca 110 m³, vilket motsvarar 19,4 ton TS. Medeltransportavståndet beräknas vara 35 km.

Lastmaskinen för bränslehantering beräknas gå 4 timmar/vecka och uppskattas ha en bränsleförbrukning på 10 l/timme.

Tabell 18 Dieselförbrukning

	(l/ton TS)	(l/lev. MWh värme)	(MJ/lev. MWh värme)
Skotning	2,21	0,58	20,5
Flisning	2,75	0,72	25,5
Transport	0,85	0,22	7,9
Bränslehantering	0,49	0,13	4,5
Totalt	6,30	1,64	58,5

Diesel ger utsläpp dels vid produktionen och dels vid förbränning i motorn.

Diesel som säljs i Sverige är generellt utblandad med omkring 5 % RME. Utsläppsdata för produktionen hämtas ur Miljöfaktaboken 2011 (Gode et. al., 2011), i vilken livscykelanalyser för olika bränslen sammanfattas. Data för produktion av diesel omfattar utvinning av råolja, raffinering, elanvändning vid oljedepåer samt transporter dels av råolja till raffinaderiet och dels av diesel till depåer och mackar (Öman, Hallberg & Rydberg, 2011). Vad som ingår i analysen för produktionen av RME framgår inte.

Utsläppsdata vid förbränning i motor hämtas även de ur ut Miljöfaktaboken 2011 (Gode et. al., 2011), där utsläpp från förbränning i motor i olika fordonstyper redovisas. Data för fordonstypen tung lastbil med släp används för alla maskiner och bilar i denna rapport.

Tabell 19 Utsläpp för produktion samt förbränning i motor för diesel med 5 % RME (Gode et. al., 2011)

	Utsläpp från produktion (mg/MJ bränsle)	Utsläpp från förbränning i motor (mg/MJ bränsle)
Fossilt koldioxid (CO ₂)	6320	69600
Metan (CH ₄)	32,8	0,5
Lustgas (N ₂ O)	1,04	1,2
Kolmonoxid (CO)	6,01	140
Kväveoxider (NO _x)	18,4	600
Svaveldioxid (SO ₂)	16,8	0,093
Flyktiga kolväten (HC)	23,7	21
Partiklar	0,968	12
Ammoniak (NH ₃)	0,284	0,21

Tabell 20 Utsläpp från skotning, flisning transport och bränslehantering (g/lev. MWh värme)

	Skotning	Flisning	Transport	Bränsle- hantering
Fossilt koldioxid (CO ₂)	1558	1938	599	345
Metan (CH ₄)	0,68	0,85	0,26	0,15
Lustgas (N ₂ O)	0,05	0,06	0,02	0,01
Kolmonoxid (CO)	3,00	3,73	1,15	0,66
Kväveoxider (NO _x)	12,69	15,79	4,88	2,81
Svaveldioxid (SO ₂)	0,35	0,43	0,13	0,08
Flyktiga kolväten (HC)	0,92	1,14	0,35	0,20
Partiklar	0,27	0,33	0,10	0,06
Ammoniak (NH ₃)	0,010	0,013	0,004	0,002

6.1.3.2 Förbränning

Själva förbränningen av bibränslet i pannan leder till utsläpp. Förbränning av bibränsle ger förhållandevis få skadliga utsläpp. Den koldioxid som släpps ut räknas som neutralt och att det ingår i det naturliga kretsloppet. Utsläpp av svaveloxider anses försumbara då trädbränsle dels innehåller mycket låga halter svavel, och dels för att de små mängder svavel som finns till stora delar binds i den alkaliska askan. (Naturvårdsverket, 2000)

De skadliga utsläpp som förekommer från förbränningen är kväveoxider NO_x, Kolmonoxid CO samt stoft. Mycket små mängder lustgas kan också bildas, speciellt vid låga förbränningstemperaturer. Utsläpp av lustgas brukar inte särredovisas i utsläppsdata från värmeverk, utan ingår som en del i utsläppen av NO_x.

Data för utsläpp från förbränningen är hämtade från utsläppsstatistik för Oskarshamns värmeverk (Bergström, 2013), vilket är en anläggning av samma typ och storleksordning som i detta scenario.

Tabell 21 Utsläpp från förbränning i bibränsleeldat värmeverk (Bergström, 2013)

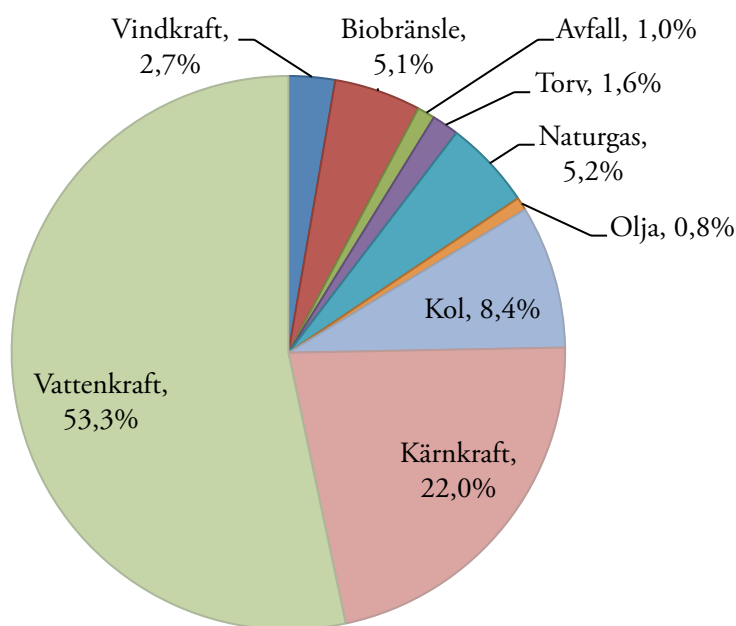
	Utsläpp (g/MJ bränsle)	Utsläpp (g/lev. MWh)
Kväveoxider (NO _x)	0,091	404
Kolmonoxid (CO)	0,175	777
Partiklar	0,012	53

6.1.3.3 El

Driften av pannanläggningen kräver el för bland annat fjärrvärmepumpar, rökgasfläktar samt bränsle- och asktransportörer. Elförbrukningen har uppskattats till 490 MWh per år (Se avsnitt 5.2).

Miljöpåverkan från el kan beräknas på flera olika sätt, men då den svenska elmarknaden är ihopkopplad med hela den nordiska elmarknaden och handel med el sker på den nordiska elbörsen NordPool, bedöms ofta nordisk elmix vara den mest sanna representationen för elanvändning i Sverige.

Produktionsmixin i nordisk elmix varierar en del från år till år exempelvis beroende på läget i kärnkraftsproduktionen och tillgången på vatten i vattenkraften. Här används den genomsnittliga produktionsmixin för 2004-2011 (NordPool Spot, 2012).



Figur 3 Nordisk elmix, medelvärde 2004-2011

Utsläppsdata för elproduktion har hämtats ur en livscykelanalys över Vattenfalls elproduktion i Norden (Vattenfall, 2012). Data för elproduktion med avfall saknas i denna livscykelanalys. Då avfall endast står för 1 % av produktionsmixin och till viss del brukar räknas som koldioxidneutral vid förbränning har den utelämnats vid beräkningen av utsläpp från nordisk elmix, eftersom påverkan på slutresultatet bedöms som liten.

Utsläppsdata i Vattenfalls livscykelanalys presenteras endast som CO₂-ekvivalenter, NO_x och SO₂. Utsläppsdata sammanvägt med produktionsförhållandena redovisas i Tabell 22.

Tabell 22 Utsläpp från nordisk elmix, medelvärde 2004-2011 (g/producerad kWh el)

	Vind- kraft	Bio- bränsle	Torv	Natur- gas	Olja	Kol	Kärn- kraft	Vatten- kraft	Totalt
CO ₂ -ekv.	0,41	0,76	10,00	26,10	7,21	65,25	1,10	4,80	115,6
NO _x	0,001	0,034	0,014	0,015	0,009	0,122	0,007	0	0,20
SO ₂	0,001	0,001	0,015	0,018	0,011	0,059	0,007	0,001	0,11

Värmeverket i det givna scenariot antas ligga i lågspänningsnät i glesbygd. Distributionsförlusterna antas vara 9 % (Vattenfall, 2012). Utsläppen från driftel redovisas i Tabell 23

Tabell 23 Utsläpp från driftel (g/lev. MWh värme)

CO ₂ -ekv.	3812
NO _x	6,6
SO ₂	3,7

6.1.3.4 Askhantering

Utsläppen till luft från askhanteringen består av diesel för transport av askan till skogen samt spridning i skogen.

Askan transporteras med lastbil i container, och liksom för flistransporter beräknas bränsleförbrukningen till 4,7 liter milen för containerbilen. För transport av aska är det inte volymen som begränsar hur mycket som kan transporteras på en bil utan vikten. Här beräknas ca 14 ton TS per transport och medeltransportavståndet beräknas vara 35 km.

Spridningen av askan sker med traktor med spridaraggregat. Bränsleförbrukningen hos en traktor varierar enormt beroende på traktormodell, förare, arbetsuppgift osv. Bioenergiportalen (2011) anger en bränsleförbrukning på 2 liter per hektar för spridning av handelsgödsel. Då handelsgödsel är en torr produkt som påminner om aska används detta värde som utgångspunkt, men eftersom det är mer krävande att köra i skogen än på en åker uppskattas bränsleförbrukningen till 3 liter per hektar. Med en spridning på 1,5 ton TS per hektar ger detta 2 liter per ton TS.

Tabell 24 Dieselförbrukning för askhantering

	(l/ton TS)	(l/lev. MWh värme)	(MJ/lev. MWh värme)
Transport	1,16	0,006	0,22
Spridning	2	0,010	0,37
Totalt	3,16	0,016	0,59

Utsläppen från dieselutvinning och förbränning av diesel i motor redovisades i Tabell 19, avsnitt 6.1.3.1.

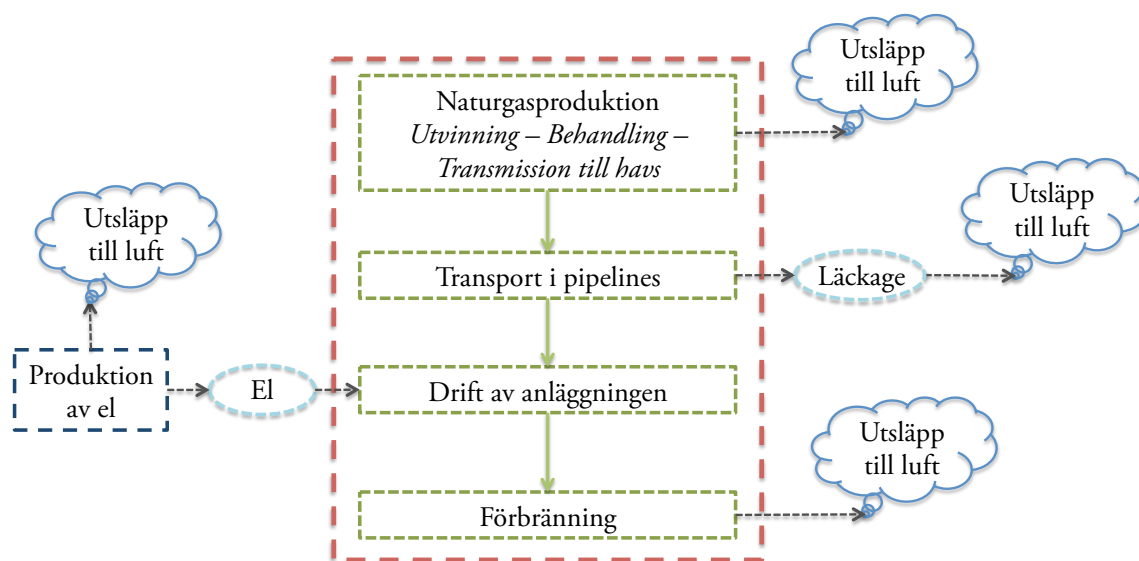
Utsläppen från askhantering kan ses i Tabell 25.

Tabell 25 Utsläpp från askhantering (g/lev. MWh värme)

	Transport	Spridning
Fossilt koldioxid (CO ₂)	16	28
Metan (CH ₄)	0,007	0,012
Lustgas (N ₂ O)	0,000	0,001
Kolmonoxid (CO)	0,031	0,054
Kväveoxider (NO _x)	0,133	0,230
Svaveldioxid (SO ₂)	0,004	0,006
Flyktiga kolväten (HC)	0,010	0,017
Partiklar	0,003	0,005
Ammoniak (NH ₃)	0,0001	0,0002

6.1.4 Referensscenario

Som referensscenario används fjärrvärmeproduktion med naturgas. Utsläpp under livscykeln förekommer vid utvinningen av naturgas, transport av naturgasen samt förbränning av naturgasen. Anläggningen kräver även el för driften, och elproduktionen ger även den utsläpp. Verkningsgraden hos naturgaspannan har antagits till 95 %.



Figur 4 Referensscenario - utsläpp under livscykeln

6.1.4.1 Bränsleproduktion

I detta scenario används data för produktion av naturgas i Nordsjön (Thunell, 1996). Utsläpp från produktionen innefattar utvinning av gasen på plattformar till havs, behandling av gasen för att avskilja olja, vattenånga och andra tyngre kolväten. Utsläppen består av gasturbindrift av kompressorer, el- och vattenförsörjning till plattformarna och oavsiktliga utsläpp av metan.

Tabell 26 Utsläpp vid naturgasproduktion (Thunell, 1996)

	(mg/MJ bränsle)	(g/lev. MWh värme)
Fossilt koldioxid (CO ₂)	3120	13137
Metan (CH ₄)	2,1	8,84
Lustgas (N ₂ O)	0,05	0,21
Kolmonoxid (CO)	3,4	14,32
Kväveoxider (NO _x)	14,7	61,89
Svaveldioxid (SO ₂)	0,2	0,84
Flyktiga kolväten (HC)	1,7	7,16

6.1.4.2 Transport

Gasen transporteras till värmeverket via pipelines i det Svenska stamnätet, först i ett högtrycksnät av ställedningar och vidare ut i regionala och lokala distributionsnät med lägre tryck. Utsläpp från transporten utgörs av läckage av metan vid exempelvis otäta rörskarvar och utsläpp vid reparations- och underhållsarbete. De största läckagen i det svenska stamnätet sker i stadsnäten i Malmö och Göteborg, vilka inte räknas med här. Övriga läckage uppgår till 0,4 mg/MJ naturgas (Thunell, 1996), vilket motsvarar 1,68 g/lev. MWh värme.

6.1.4.3 El

Driften av pannanläggningen kräver el för bland annat fjärrvärmepumpar och rökgasfläktar. Elanvändningen i naturgasscenariot uppskattas till ca 75 % av elbehovet i biogasscenariot. Elbehovet för fjärrvärmepumpar är likvärdigt, men i naturgasscenariot finns inget behov av bränsle- och asktransportörer. Behovet av fläktar för lufttillförsel och rökgaser är också lägre. Den årliga elförbrukningen blir med detta antagande 368 MWh.

Liksom i bioenergiscenariot antas elen vara nordisk el mix och distributionsförlusterna 9 %, se avsnitt 6.1.3.3.

Utsläpp från driftel redovisas i Tabell 27.

Tabell 27 Utsläpp från driftel (g/lev. MWh värme)

CO ₂ -ekv.	2863
NO _x	5,0
SO ₂	2,8

6.1.4.4 Förbränning

Utsläpp som bildas vid förbränning av naturgas i värmeverk (Uppenberg et. al., 2001) redovisas i Tabell 28

Vid förbränning av naturgas uppstår inga fasta restprodukter.

Tabell 28 Utsläpp vid förbränning av naturgas i värmeverk (Uppenberget et. al, 2001)

	(mg/MJ bränsle)	(g/lev. MWh värme)
Fossilt koldioxid (CO ₂)	56000	235789
Metan (CH ₄)	0,1	0,42
Lustgas (N ₂ O)	0,5	2,11
Kolmonoxid (CO)	10	42,11
Kväveoxider (NO _x)	49	206,32
Svaveldioxid (SO ₂)	0	0,00
Flyktiga kolväten (HC)	1	4,21

6.1.5 Miljöpåverkansbedömning

Utifrån ovanstående utsläppsberäkningar har en miljöpåverkansbedömning från utsläpp till luft avseende växthuseffekt (GWP), övergödning (EP) och försurning (AP) gjorts. De karaktäriseringsfaktorer som har använts redovisas i Tabell 29 och är hämtade ut Miljöfaktabok 2011 (Gode et. al., 2011).

Tabell 29 Karaktäriseringsfaktorer för miljöpåverkansbedömning (Gode et. al., 2011)

	GWP	EP	AP
Fossilt koldioxid (CO ₂)	1		
Metan (CH ₄)	23		
Lustgas (N ₂ O)	296		
Kväveoxider (NO _x)		0,13	0,7
Svaveldioxid (SO ₂)			1
Ammoniak (NH ₃)		0,35	1,88
Fosfat (PO ₄ ³⁻)		1	

GWP – Global Warming Potential uttrycks i koldioxidekvivalenter

EP – Eutrophication Potential uttrycks i fosfatekvivalenter

AP – Acidification Potential uttrycks i svaveldioxidekvivalenter

Resultatet av miljöpåverkansbedömningen redovisas i Tabell 30 och Tabell 31, som en total miljöpåverkan samt uppdelat på de ingående processerna.

Miljöpåverkan med avseende på växthuseffekten minskar med 97 % vid ett byta från naturgas till biobränsle, medan det sker en ökning på ungefär 60 % för både övergödning och försurning.

För biobränslescenariot kommer växthusgasutsläppen till ungefär lika delar från elanvändning och från bränsleproduktionskedjan, medan försurning och övergödning främst härrör från förbränningsprocessen.

För naturgasscenariot är det förbränningsprocessen som står för majoriteten av miljöpåverkan.

Tabell 30 Miljöpåverkan från biobränsle

	Skotning	Flisning	Transport	Bränsle- hantering	För- bränning	El	Ask- hantering	Totalt
GWP	1587	1975	610	352	0	3812	45	8382
EP	1,7	2,1	0,6	0,4	52,6	0,9	0,0	58,2
AP	9,2	11,5	3,6	2,1	283,0	8,4	0,3	318,0

Tabell 31 Miljöpåverkan från naturgas

	Naturgas- produktion	Transport i pipelines	El	Förbränning	Totalt
GWP	13403	39	2863	236422	252727
EP	8,0	0,0	0,6	26,8	35,5
AP	44,2	0,0	6,3	144,4	194,9

6.2 Övriga miljöaspekter

Livscykelanalysen ovan beskriver utsläppen till luft från respektive scenario med avseende på växthuseffekt, försurning och övergödning. Värt att notera är dock att det finns flera miljöeffekter.

6.2.1 Stoft

Stoft är små partiklar som kan hålla sig svävande i luften och spridas långa sträckor. Vid förbränning av biobränsle finns det stoft i rökgaserna. Det kan bestå av små askpartiklar, flygaska, eller av oförbrända ämnen. Halterna stoft vid förbränning av biobränslen är relativt höga eftersom de har ett högt innehåll av aska. Naturgasförbränning ger däremot i princip inga stoftutsläpp eftersom den inte innehåller någon aska.

För fastbränsleanläggningar mindre än 10 MW finns det inga krav för stoftutsläpp (Naturvårdsverket, 2005). Naturvårdsverket har dock utarbetat råd för fastbränsleanläggningar (Naturvårdsverket, 1987) vilka anger utsläppsgränser för stoft. Kostnadsuppskattningarna för anläggningen i det beskrivna scenariot innehåller reningsutrustning som gör att dessa nivåer klaras med god marginal. En viss mängd stoftutsläpp förekommer dock ändå.

Utsläpp av stoft ger i första hand effekter på människors hälsa. Ju mindre partiklar desto längre ner i luftvägarna tar sig partiklarna. Partiklar från förbränning är oftast mindre än 10 µm och räknas som fina partiklar. Stoft kan ge upphov till främst sjukdomar i luftvägarna, men också till cancer och hjärt- och kärlsjukdomar. (Länsstyrelsen, 2004)

6.2.2 Försurning och näringsurlakning vid uttag av biomassa

När träden i skogen växer tar de upp näringsämnen ur marken via rötterna. Dessa förekommer i marken i form av laddade joner, och för att behålla sin jonbalans avger trädet en vätejon för varje positivt laddat näringsämne det tar upp och en hydroxidjon för varje negativt laddat näringsämne det tar upp. Markens pH bestäms av koncentrationen av vätejoner respektive hydroxidjoner, där vätejoner är försurande och hydroxidjoner är basiska. Generellt sett är upptaget av positivt laddade näringsämnen större än upptaget av negativt laddade. Detta gör att marken långsamt försuras när träden växer. I en orörd skog innebär inte detta något problem då vätejoner förbrukas igen när trädet dör och bryts ner, och näringsämnena åter frigörs.

Vid uttag av biomassa ur skogen påverkar dock denna naturliga balans, och det uppstår en nettoförsurning och en urlakning av näringsämnena. I viss mån kompenseras denna försurning av vittring i berggrunden, men ju större uttaget av biomassa är desto större är risken att vittringen inte räcker till. Försurningen och urlakningen av näringsämnena blir större ju mer biomassa som tas ut, varför problemet är större när även avverkningsrester tas ut ur skogen jämfört med traditionellt skogsbruk då bara stamved tas ut. Dessutom finns en stor del av trädets näring i trädets grenar, toppar och barr eller löv, vilket ytterligare ökar risken

för försurning och näringsurlakning vid uttag av skogsbränsle. Näringsurlakning ur marken kan orsaka en försämrad tillväxt, och försurning påverkar framförallt kvaliteten på avrinnande vatten vilket i sin tur försurar vattendrag i området. Försurning har en negativ effekt på väldigt många vattenlevande arter.

För att kompensera detta är det viktigt att låta avverkningsresterna ligga kvar på hygget en tid för att barren skall falla av och bli kvar på platsen. I praktiken har det dock visat sig att en rationell hantering av avverkningsresterna där dessa läggs upp i högar på hygget fastnar stora delar av barren i högen även om de har lossnat från grenarna. (Skogsstyrelsen, 2009)

Även återföring av aska rekommenderas som compensation. Skogsstyrelsen bedömer att uttag av avverkningsrester som motsvarar med än en halvt ton aska per hektar och omloppstid riskerar att orsaka för stor näringsutarmning och försurning för att anses som hållbar markanvändning. (Skogsstyrelsen, 2008c) Askan är basisk och innehåller alla näringsämnen som fördes bort ur skogen vid uttag av skogsbränsle, utom kväve. I vissa marker, där bortförslin av kväve i och med skogsbränsleuttaget är större än kvävenedfall och kvävefixering, kan det även ur tillväxtsynpunkt vara lämpligt med viss kvävegödsling.

6.2.3 Biologisk mångfald

Tillgången på död ved i skogen är viktig för att bevara den biologiska mångfalden. Det finns många arter som är beroende av främst grov död ved, men många insektsarter är även beroende av död klen ved. Stora uttag av grot kan därför hota den biologiska mångfalden, och det är lämpligt att lämna kvar en liten del av avverkningsresterna på platsen, oavsett trädslag. (Skogsstyrelsen, 2008c)

7 Känslighetsanalyser

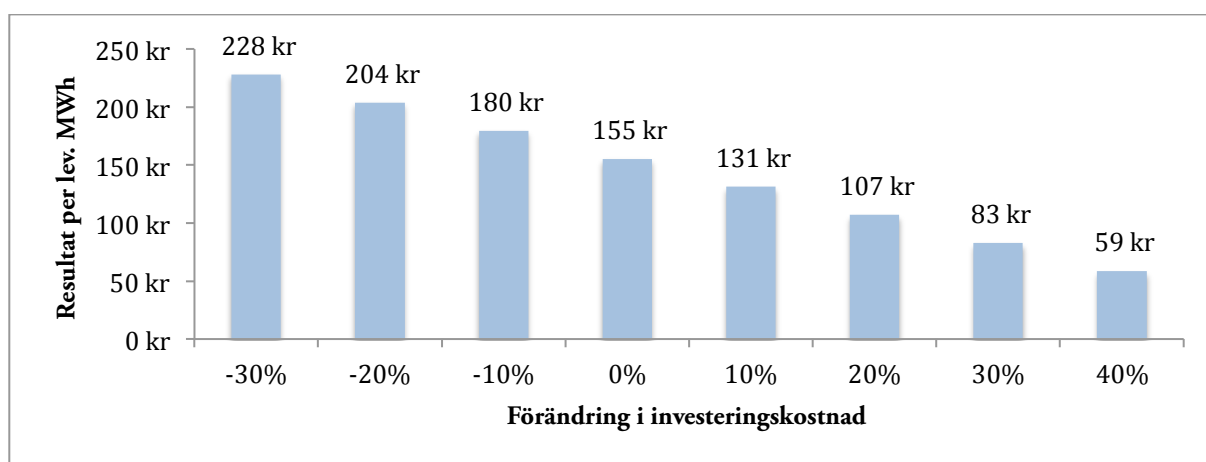
7.1 Ekonomi

7.1.1 Investeringskostnad

Investeringskostnaden är den största utgiftsposten. I kostnadskalkylen för scenariot har en kostnadsuppskattning för anläggningen på 5 miljoner kronor per MW använts (Johannesson, 2013), men när en anläggning skall byggas måste givetvis en noggrannare bedömning av investeringskostnaden göras.

I de totala investeringskostnaderna ingår även kostnader för inköp av mark och markberedning. Denna kostnadsuppskattning är mycket osäker. Dels varierar priset på industrimark stort beroende på var den ligger, och dels är kostnaderna för markberedning starkt beroende av förutsättningarna på platsen.

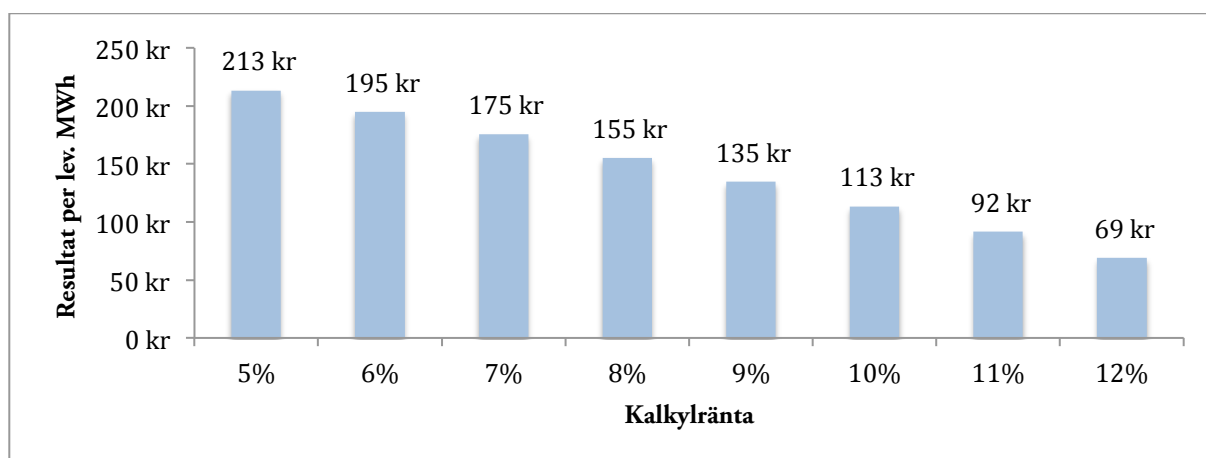
I Figur 5 redovisas hur resultatet förändras med en förändrad investeringskostnad, per levererad MWh.



Figur 5 Investeringskostnadens påverkan på resultatet

7.1.2 Kalkylränta

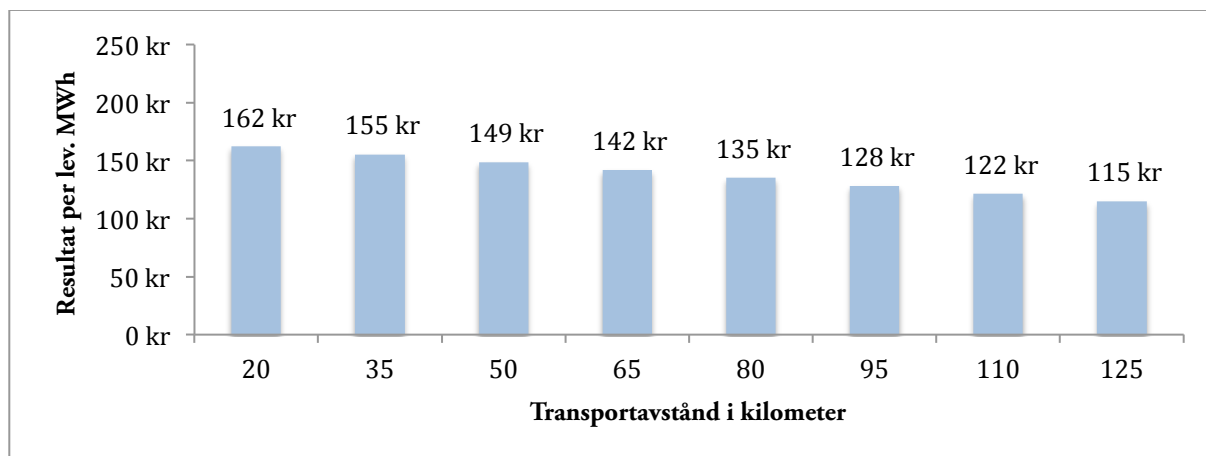
I beräkningarna för den årliga kostnaden för investeringen har en kalkylränta på 8 % använts, vilket har bedömts rimligt utifrån det aktuella ränteläget. Valet av kalkylränta ger dock en stor påverkan på resultatet, vilket kan ses i Figur 6.



Figur 6 Kalkylräntans påverkan på resultatet

7.1.3 Transportavstånd

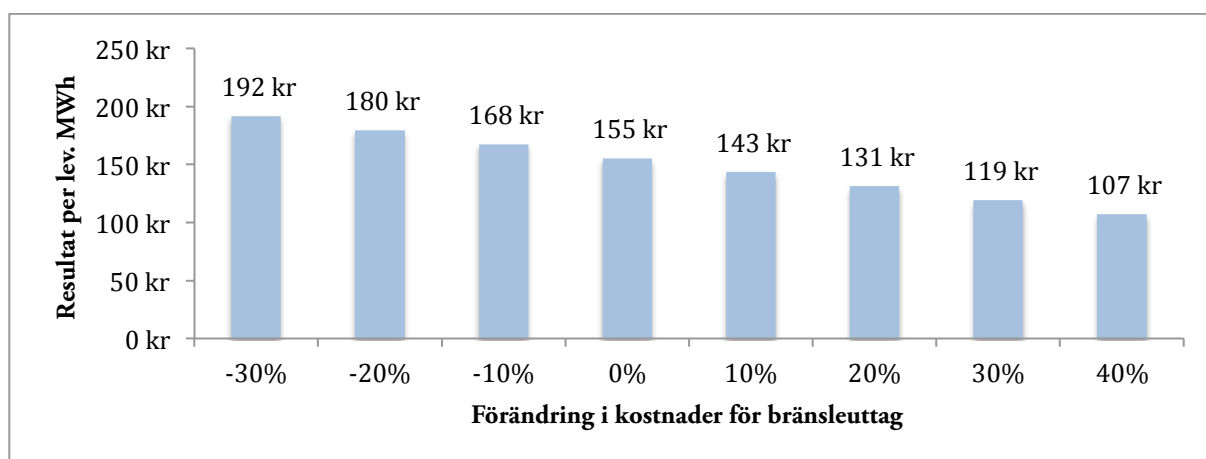
I scenariot har antagits att skogen ligger i nära anslutning till värmeverket, och ett medeltransportavstånd på 35 kilometer har använts. I Figur 7 ses dock att transportavståndets påverkan på resultatet är relativt liten.



Figur 7 Transportavståndets påverkan på resultatet

7.1.4 Kostnad för bränslehantering

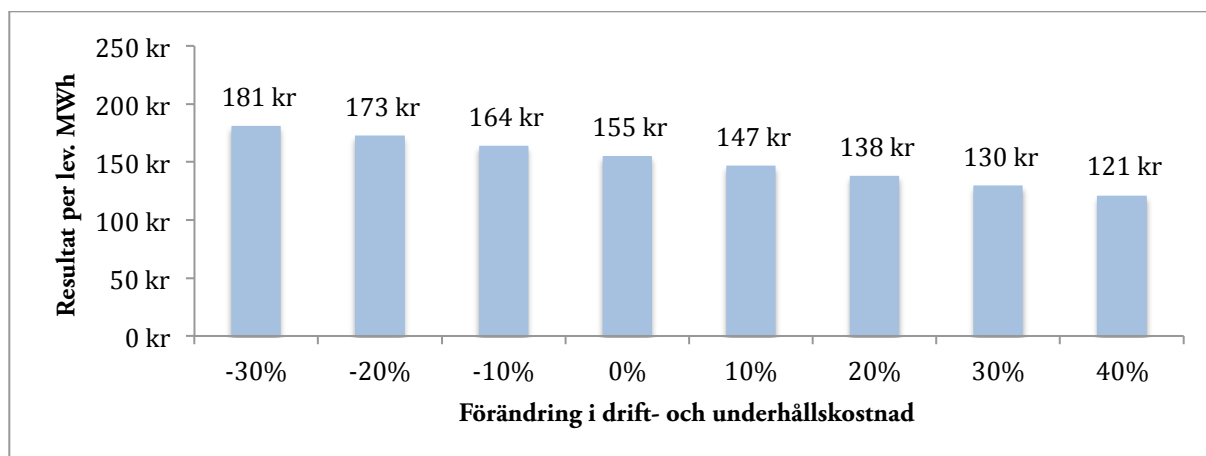
I scenariot har kostnaderna för skotning, flisning och transport av bränsle beräknats enligt Athanassiadis (2009), vilket är de faktiska kostnaderna för dessa åtgärder. Det är dock rimligt att anta att dess åtgärder utförs av en entreprenör, som i sin tur måste göra vinst på sin verksamhet. Det är därför inte osannolikt att kostnaderna för dessa åtgärder är högre än vad som angivits i den ekonomiska kalkylen för scenariot. I Figur 8 ses påverkan på resultatet av en förändrad bränslekostnad.



Figur 8 Bränslekostnadens påverkan på resultatet

7.1.5 Drift- och underhållskostnader

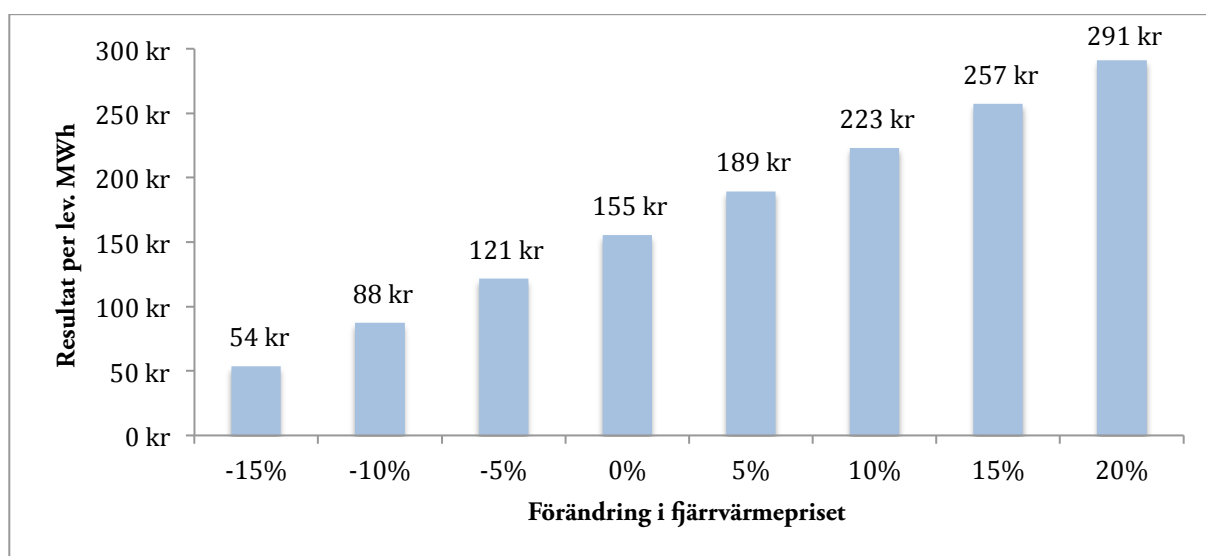
Drift- och underhållskostnaderna är den tredje största utgiftsposten i kalkylen, efter avskrivningskostnaden för investeringen och bränslekostnaderna, och är en relativt osäker uppskattning baserat på underhållskostnaderna vid värmeverket i Oskarshamn. I Figur 9 ses att påverkan på resultatet dock är relativt liten.



Figur 9 Drift- och underhållskostnadernas påverkan på resultatet

7.1.6 Fjärrvärmepriset

Försäljning av fjärrvärme är den enda inkomstkällan i scenariot. I kalkylen används medelpriset för fjärrvärme till småhus 2012, men det förekommer en betydande variation på priset mellan olika fjärrvärmenät. Skillnaden i pris mellan olika nät kan ha många orsaker som exempelvis bränslepriser, storleken på nätet och hur tätt bebyggd orten är (svensk fjärrvärme, 2012). Fjärrvärmepriset har en stor påverkan på det totala resultatet, vilket kan ses i Figur 10.

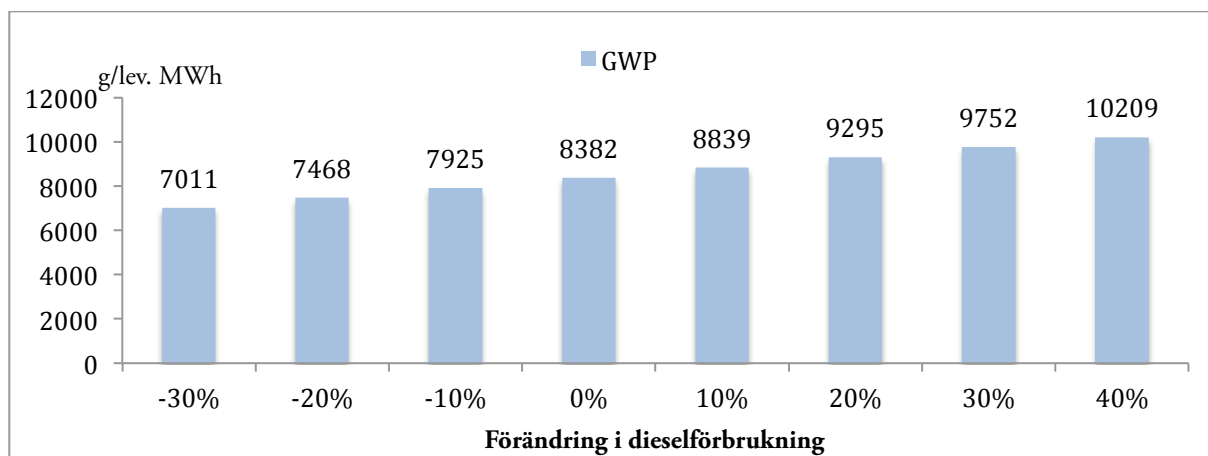


Figur 10 Fjärrvärmeprisets påverkan på resultatet

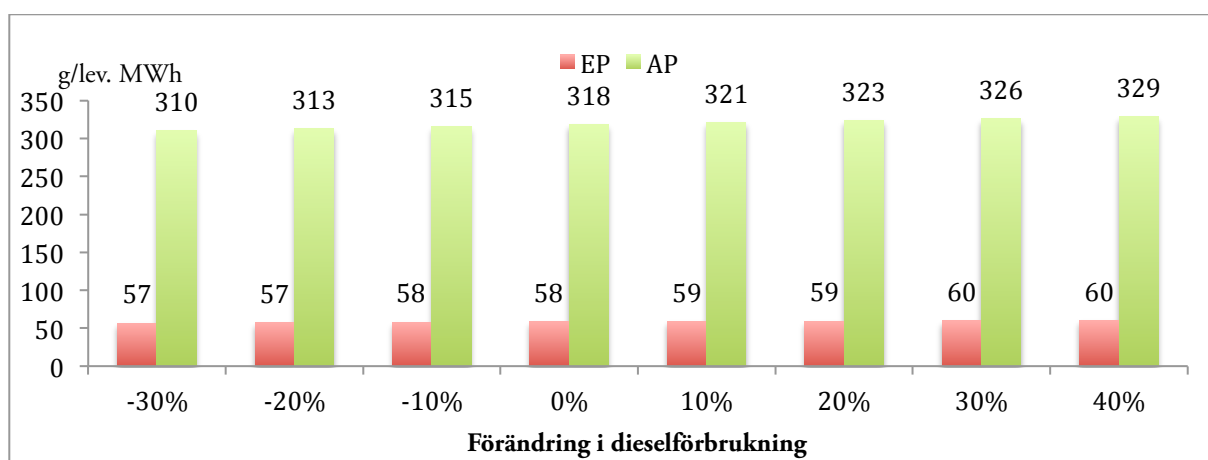
7.2 Miljö

7.2.1 Förändrad dieselförbrukning

En stor del av växthusgasutsläppen från biobränslescenariot kommer från anskaffning och hantering av bränslet samt spridning av aska. För alla dessa moment har en dieselförbrukning uppskattats, men den kan variera stort beroende på exempelvis typ av maskin, terräng och körsätt. I Figur 11 ses att dieselförbrukningen har en tydlig påverkan på bioenergiscenariots utsläpp av växthusgaser, medan i Figur 12 kan avläsas att övergödning och försurning påverkas i mycket liten utsträckning.



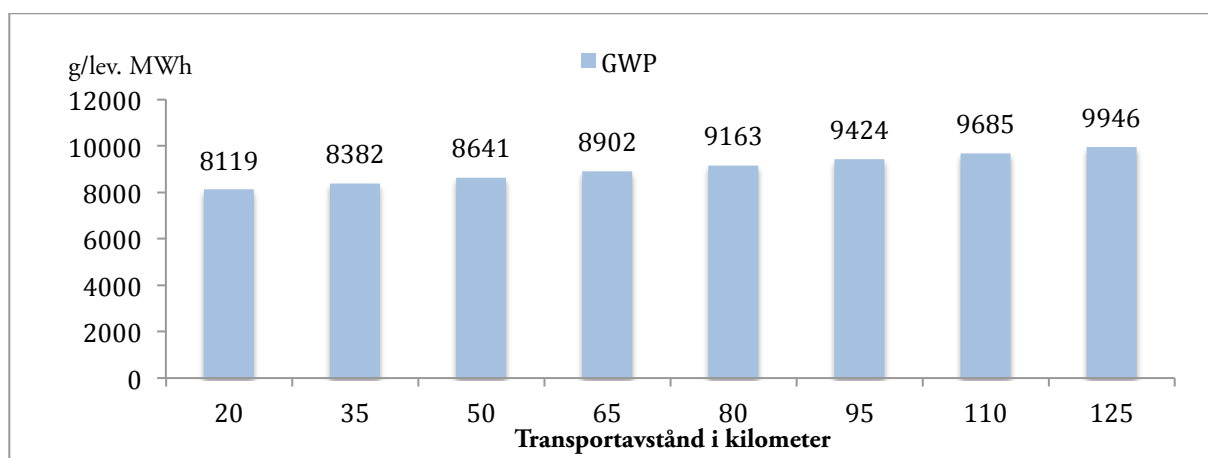
Figur 11 Dieselförbrukningens påverkan på GWP i bioenergiscenariot



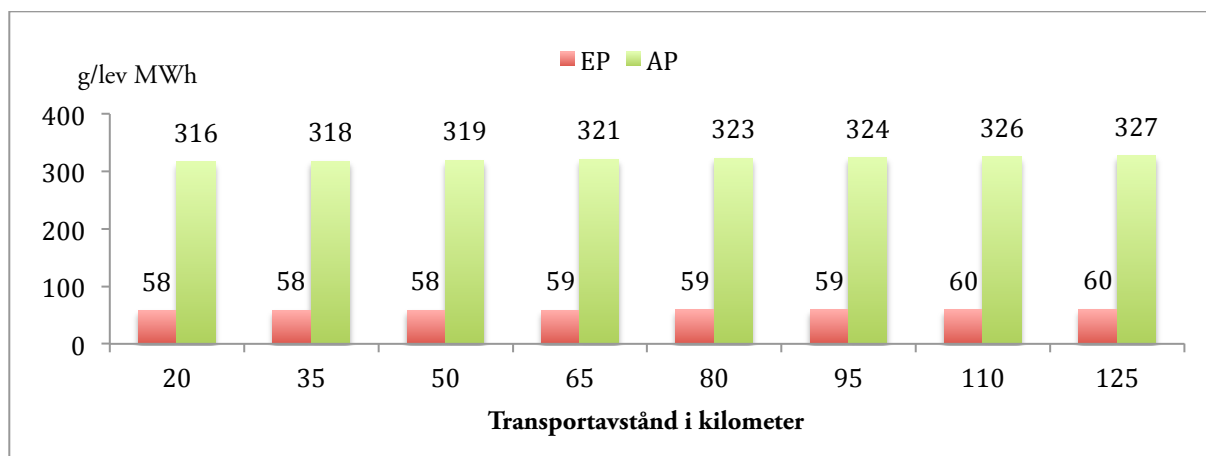
Figur 12 Dieselförbrukningens påverkan på EP och AP i bioenergiscenariot

7.2.2 Transportavstånd

Transportavståndet i scenariot valdes relativt kort, 35 kilometer. Ett förändrat transportavstånd ger en förändrad dieselförbrukning och i Figur 13 visas att ett ökat transportavstånd påverkar växthusgasutsläppen från bioenergiscenariot tydligt, medan i Figur 14 kan ses att övergödning och försurning knappt påverkas alls.



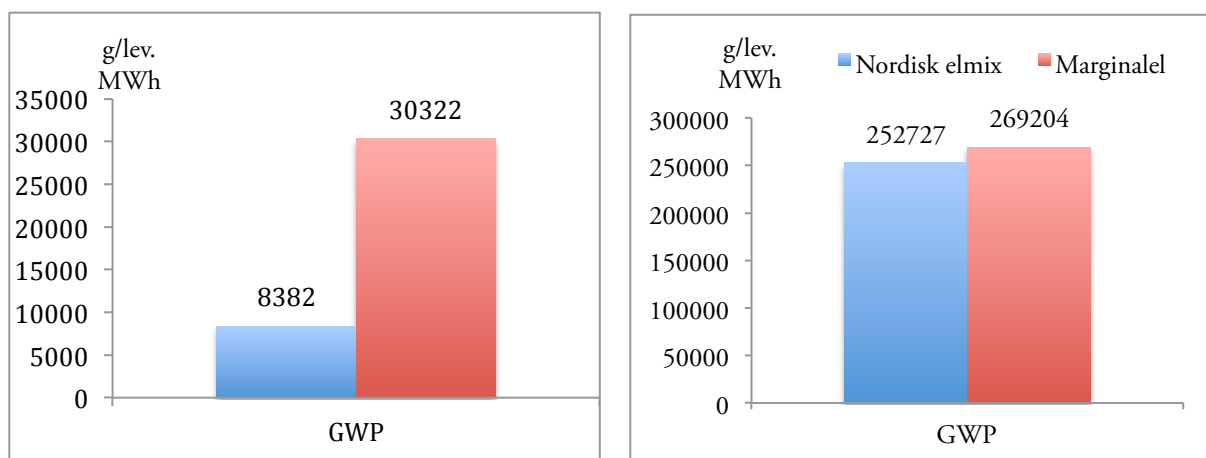
Figur 13 Transportavståndets påverkan på GWP i bioenergiscenariot



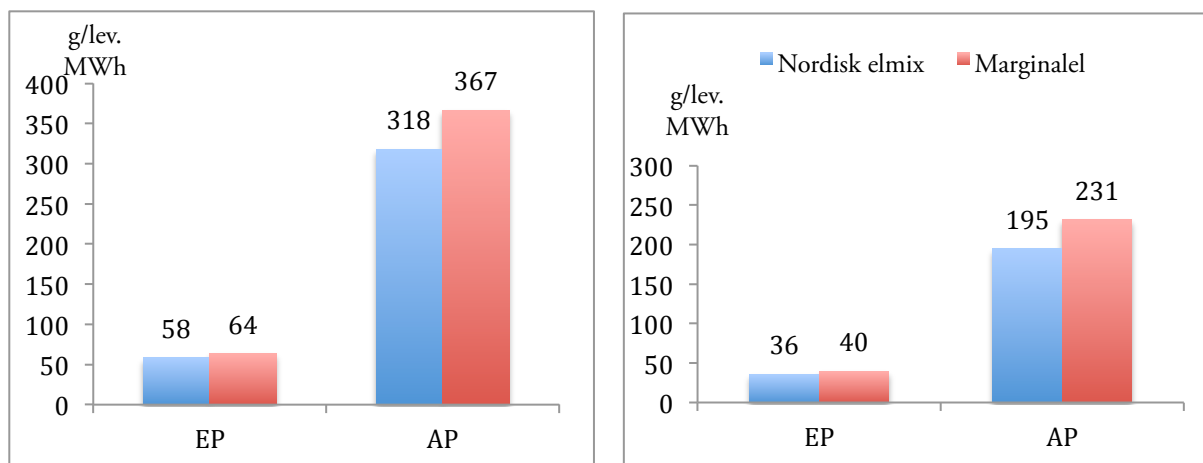
Figur 14 Transportavståndets påverkan på EP och AP i bioenergiscenariot

7.2.3 Marginal el

I både bioenergiscenariot och referensscenariot används el för driften av värmeverket. I framförallt bioenergiscenariot står elanvändningen för en betydande del av framförallt växthusgasutsläppen. I beräkningarna i scenariot används utsläppsdata för nordisk elmix. Används istället marginal el, dvs. el producerad med kolkraft, i beräkningarna blir elens påverkan betydligt större, vilket kan ses i Figur 15. För bioenergiscenariot fås en mångdubbling av växthusgasutsläppen. I referensscenariot fås en något mindre ökning i faktiska tal, då elförbrukningen är något lägre i detta scenario. Då växthusgasutsläppen redan är mycket stora i detta scenario fås inte någon stor ökning procentuellt. I Figur 16 ses att påverkan på övergödningen är obetydlig, medan en viss ökning kan ses i försurningspotentialen.



Figur 15 Elursprungets påverkan på GWP. Bioenergiscenariot till vänster, referensscenariot till höger (obs. olika skala)

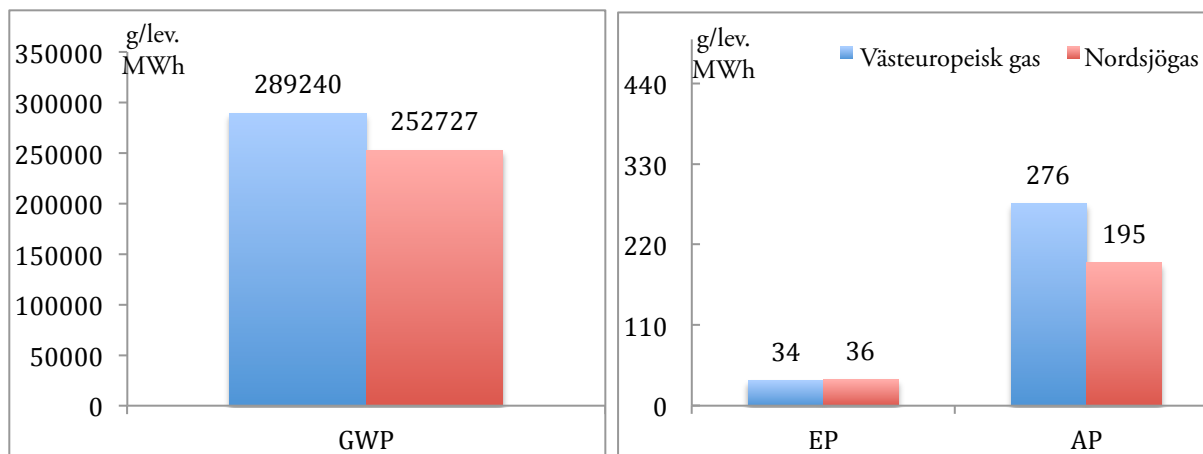


Figur 16 Elursprungets påverkan på EP och AP. Bioenergiscenariot till vänster, referensscenariot till höger.

7.2.4 Västeuropeisk gas

I naturgasscenariot har data för produktion av naturgas från Nordsjön använts. Den gas som används i Sverige kommer idag i första hand från de danska naturgasfälten i Nordsjön, via det danska naturgasnätet.

En känslighetsanalys har gjorts där produktions- och distributionsdata för den mix av naturgas som förekommer i Västeuropa har använts i stället. Den västeuropeiska mixen består av 52 % västeuropeisk gas och 48 % importerad gas, främst från Ryssland (Gode et. al, 2011). Det är generellt ett högre läckage vid produktion och distribution av rysk naturgas, vilket påverkar den totala miljöpåverkan.



Figur 17 Miljöpåverkan av västeuropeisk gas jämfört med nordsjögas

8 Diskussion

8.1 Investering

Ekonomi är den avgörande aspekten för huruvida ett projekt av den här typen ska kunna bli av. Resultatet påverkas som beskrivits i kapitel 5 av många olika faktorer, men investeringskostnaden är av avgörande betydelse. Som synes i känslighetsanalysen Figur 5 ger så små förändringar som 10 % på investeringskostnaden relativt stort utslag på resultatet. I scenariot gjordes valet att sköta hela produktionen med biobränsle. Valet att använda två biopannor i anläggningen ger en oproportionerligt stor investeringskostnad i förhållande till energibehovet. Ett alternativ för att minska investeringskostnaden är att byta ut den mindre pannan mot en oljepanna. Detta skulle minska investeringskostnaden med ett belopp i storleksordningen 10-12 miljoner kronor, dvs ca 25 %. Detta ger dock en ökad driftskostnad eftersom olja är ett betydligt dyrare bränsle än biobränsle. Ett annat alternativ är att använda den i scenariot befintliga naturgaspannan för spetslast samt den tid under sommaren då effektbehovet är för lågt för biopannans driftområde. Detta minskar investeringskostnaden ytterligare något. Att använda fossila bränslen i produktionen skulle dock öka miljöpåverkan.

Eftersom både investeringskostnaden och kalkylräntans påverkan på lönsamheten i projektet är väldigt stor bör dessa analyseras noggrant i ett verkligt fall. I det beskrivna scenariot klaras en förändring i dessa båda faktorer på 20 % uppåt utan att projektet går med förlust, men vinsten bli då på en sådan nivå att det är mycket tveksamt om projektet blir av.

8.2 Teknik

En biobränslepanna kräver mer skötsel än en panna som går på fossilbränsle. Ett system som inkluderar en panna för fossilbränsle, antingen en ny oljepanna eller den befintliga naturgaspannan, klarar av att gå till och från automatiskt medan en biopanna måste gå kontinuerligt. Under sommarperioden då energibehovet endast består av varmvattenförbrukning och distributionsförluster kan en fossilbränslepanna sköta sig själv på ett annat sätt än vad biobränslepannan kan. Det kan därför även finnas driftsmässiga orsaker att studera ett alternativ som inkluderar en oljepanna eller naturgaspannan. I en oljepanna är det även tekniskt möjligt att använda bioolja.

Ett annat alternativ kan vara att inkludera en ackumulatortank i systemet. Förbrukningskurvan för varmvatten varierar normalt under dygnet med en tydlig topp under morgonen och en mindre på kvällen, se avsnitt 2.1. Med en ackumulatortank med kapacitet att magasinera morgontoppens energimängd inkluderad i systemet blir driftförhållandena för biopannan bättre eftersom den kan gå på en jämn effekt utan att behöva reglera så ofta.

8.3 Bränslekostnad

Den beräknade bränslekostnaden i scenariot är låg, 120 kr/lev. MWh eller 98 kr/MWh bränsle. Att köpa skogsflis, fritt levererat till värmeverket kostade under fjärde kvartalet 2012 (Energimyndigheten, 2013) 205 kr/MWh. Beräkningarna visar alltså att bränsle från egen skog ekonomiskt sett är en bra affär. Kostnadsberäkningarna för bränslet i scenariot är dock endast kostnaden för att ta ut bränslet ur skogen och leverera till värmeverket. Den inkluderar ingen ersättning till skogsägaren. En del av vinsten i anläggningen bör därför fördelas som ersättning till skogsägaren för skogsbränsleuttaget.

8.4 Energimarknadsinspektionens förslag

Sedan förutsättningarna för detta examensarbete fastställdes har Energimarknadsinspektionen (2013a&b) kommit med sitt förslag om en förändrad lagstiftning kring ett reglerat tillträde till fjärrvärmemarknaden.

Förslaget kom endast ett par veckor före redovisning av examensarbetet och ingen hänsyn har tagits till förutsättningarna från förslaget i det beskrivna scenariot. De fastställda förutsättningarna för scenariot i examensarbetet innebar att lantbrukarkooperativet själva skulle stå för försäljning av värme direkt till kund. Om förslaget från Energimarknadsinspektionen godkänns och implementeras i lagstiftningen skulle det inte vara möjligt för lantbrukarkooperativet att själva sköta distribution och kundkontakter utan detta måste ske i avtal med fjärrvärmebolaget. Detta medför i princip att försäljning av värmen sker till fjärrvärmebolaget för ett något lägre pris. Samtidigt minskar kostnaderna för lantbrukarkooperativet något, dels genom en minskad elförbrukning för driften av fjärrvärmesystemets distributionspumpar och dels för administration då fakturering endast behöver ske mot fjärrvärmebolaget istället för till 1000 fjärrvärmekunder.

8.5 Utsläpp av växthusgaser

I diskussioner kring biobränsleförbränning och dess miljöpåverkan hörs ibland argument om att det ändå krävs så mycket fossilbränsle för skogsbruk och transporter att miljövinsten är obetydlig. Denna livscykelanalys visar att så inte alls är fallet. Även om transporter och annan dieselanvändning i bränsleanskaffningsprocessen står för majoriteten av koldioxidutsläppen i bioenergiscenariots livscykel är dessa endast en bråkdel av utsläppen som uppstår vid produktion och förbränning av naturgas. Även om känslighetsanalysen visar att ökad dieselförbrukning eller längre transporter påverkar utsläppen av växthusgaser från bioenergiscenariot relativt kraftigt, så fortsätter de ändå att vara endast några procent av de från naturgasscenariot. Det är alltså tydligt att det är stor vinst att övergå från naturgas till biobränsle när det gäller klimatpåverkan.

8.5.1 Utsläpp av växthusgaser vid biobränsleförbränning

Traditionellt sett har förbränning av biobränsle ansetts som koldioxidneutral ur ett livscykelperspektiv, då den koldioxid som frigörs i förbränningen binds upp i ny biomassa när träden växer. Aktuell forskning menar dock att den tidsfördröjning som finns mellan det att koldioxid frigörs tills att den åter binds upp i biomassa gör att även koldioxid från förbränning av biomassa inte kan ses som klimatneutral. Koldioxid från förbränningen uppehåller sig i atmosfären tills den är fullständigt uppbunden i ny biomassa, vilket inte sker förrän vid slutet av nästa rotationsperiod. (Helin et. al., 2012) I denna studie har ingen hänsyn tagits till detta utan koldioxidutsläpp vid förbränning av biobränsle har räknats som koldioxidneutrala på traditionellt sätt. Att ta hänsyn till tidsfördröjningen skulle dock inte påverka slutsatsen att det är en stor vinst att övergå från naturgas till biobränsle med avseende på klimatpåverkan.

8.6 Övergödning och försurning

När det gäller övergödning och försurning visar livscykelanalysen på ökade utsläpp från bioenergiscenariot jämfört med naturgasscenariot. Det är främst kväveoxider från förbränningen som står för denna påverkan. Övergödning är främst ett problem i havet och orsakar exempelvis algbloomning och bottendöd. Försurning däremot är främst ett problem i sjöar och vattendrag och orsakar negativa effekter på många vattenlevande arter, både växter och djur. Ingen övergödning och bara naturlig försurning är två av Sveriges miljömål (Naturvårdverket, 2013). Trots att utsläppen av kväve ökar genom övergång till biobränsle måste miljöpåverkan sägas vara liten. De totala utsläppen av kväveoxider från bioenergiscenariot är drygt 7,3 ton årligen, vilket motsvarar 2,2 ton rent kväve. De totala svenska utsläppen av kväve till havet var år 2000 158 000 ton, varav två tredjedelar har antropogent ursprung. (Bernes, 2005) Utsläppen från biobränsleförbränningen är alltså förhållandevis små.

Värt att notera i sammanhanget är också att utsläppen ökar jämfört med naturgasscenariot. Naturgas är dock inte särskilt vanligt som bränsle i Sverige då det svenska naturgasnätet är litet och enbart finns på

västkusten. Vanligare torde vara att ersätta olja med biobränsle. Förbränning av olja ger lika stora eller större utsläpp av kväveoxider som biobränsleförbränning (Gode et. al., 2011 / Uppenberg et.al., 2001).

Den försurning som uppstår då biomassa tas ut ur skogen istället för att få ligga kvar och förmultna är troligtvis ett större problem, beroende på hur markförhållandena och vittringen i den aktuella skogen ser ut. Askåterföring kan förhindra det här problemet och är en förutsättning för att skogsbruk med ett stort uttag av grot skall kunna anses hållbart (Skogsstyrelsen, 2008b). Askåterföring är idag inte särskilt vanligt, eftersom det finns billigare sätt att göra sig av med askan. Normalt sett finns inte några incitament för en värmeproducent att ta den extra kostnaden för askåterföring. Pengar är en starkt drivande faktor i samhället och så länge andra alternativ är mer lönsamma är risken stor att askåterföring kommer fortsätta vara ovanligt om inte lagar och regler tvingar värmeproducenten att återföra askan till skogen. Det beskrivna scenariot använder dock askåterföring och visar att det under de givna förutsättningarna är möjligt att få lönsamhet även då askan återförs till skogen. När skogsbränsle tas ur den egna skogen finns dock det extra incitamentet att återföra näring till skogen och på så vis möjligtvis minska behovet av en gödsling.

9 Slutsatser

Resultatet från studien visar att det under de givna förutsättningarna är lönsamt med ett kooperativt drivet biobränsleeldat fjärrvärmeverk.

Lokal bränsleanskaffning är enligt studien ekonomiskt fördelaktiga jämfört med att köpa bränsle på den öppna marknaden, men ställer stora krav på logistiken, då det krävs en kontinuerlig tillförsel av bränsle till värmeverket. Det krävs också tid och kunskaper hos de personer i kooperativet som skall sköta och driva anläggningen.

Studien visar också att en betydande miljövinst görs vid ett byte från naturgas till biobränsle med avseende på växthusgaser.

9.1 Förslag på vidare undersökningar

Denna studie har visat att det finns goda förutsättningar för att lönsamt kunna bygga och driva en fjärrvärmeanläggning med lokal bränsleförsörjning från skogen. I ett verkligt fall måste dock vidare undersökningar göras.

Investeringskostnaden är den klart avgörande posten i den ekonomiska kalkylen varför det i ett verkligt fall är nödvändigt noggrant undersöka kostnaden för att bygga den aktuella anläggningen. Vidare bör frågan om kapitalanskaffning undersökas, då räntans påverkan på resultatet är stor. Dagens ränteläge indikerar dock att denna typ av långsiktiga investeringar är lönsamma.

Alternativa lösningar där en viss del av produktionen sker med fossilbränsle eller bioolja bör undersökas då detta ger en lägre investeringskostnad och enklare drift. Det ger dock en högre bränslekostnad och större miljöpåverkan varför alternativet bör utvärderas noga.

För att försäkra sig om tillgången på bränsle bör även en inventering av den aktuella skogen göras för att bedöma arealbehovet och huruvida allt bränsle kan vara lokalt eller om viss mängd bränsle måste köpas på den öppna marknaden.

10 Referenser

- Athanassiadis, D., Melin, Y., Lundström, A & Nordfjell, T (2009) *Marginalkostnader för skörd av grot och stubbar från föryngringsavverkningar i Sverige*. Umeå: Sveriges lantbruksuniversitet, Institutionen för skoglig resurshållning (Arbetsrapport 261).
- Bergström, Per-Ola (2013) Driftchef fjärrvärme, Oskarshamn energi AB. Personlig kontakt. [2013-05-10]
- Bernes, Claes (2005) *Monitor 19 - Förändringar under ytan*. Upplaga 1. Stockholm. Naturvårdsverkets förlag
- Bioenergiportalen (2011-09-13) *Energianvändning i växtodlingen*.
<http://www.bioenergiportalen.se/?p=5737> [2013-05-18]
- Brunberg, T., Erikson, G., Granlund, P. Löfgren, B. Löfroth, C. & Nordén, B (2000) *Test av åtta mellanstora skotare – tekniska data och bränsleförbrukning*. Uppsala: Skogforsk (Resultat nr 20 2000)
- EAA (2006). *How much bioenergy can Europe produce without harming the environment?* Köpenhamn, European Environment Agency.
- Energiaskor (2013) *Användning av aska på deponier*. <http://www.energiaskor.se/Deponier.html> [2013-05-18]
- Energimarknadsinspektionen (2013a) *Reglerat tillträde till fjärrvärmenäten* (Energimarknadsinspektionen, Ei R2013:04)
- Energimarknadsinspektionen (2013b) *Prisförändringsprövning och likabehandlingsprincip för fjärrvärme*. (Energimarknadsinspektionen Ei R2013:07)
- Energimyndigheten (2011a), *Energistatistik för flerbostadshus 2010*. Eskilstuna, Statens energimyndighet
- Energimyndigheten (2011b), *Energistatistik för småhus 2010*. Eskilstuna, Statens energimyndighet.
- Energimyndigheten (2013) *Trädbränsle – och torvpriser, Nr 1 /2013*. (Sveriges Officiella Statistik. Statistiska meddelanden EN 030 SM 1301)
- EU-kommissionen (2012-09-10) *The EU climate and energy package*
http://ec.europa.eu/clima/policies/package/index_en.htm [2013-05-05]
- Fredriksen, Svend & Werner, Sven (1993). *Fjärrvärme – Teori, teknik och funktion*. Upplaga 1:14. Lund: Studentlitteratur AB
- Friberg, G. & Hansson, J. (2012) *Kostnadskalkyl för flis med terminalhantering på basamyran*. Sveriges Lantbruksuniversitet Umeå, Jägmästarprogrammet. (Examensarbete, Arbetsrapport 372 2012)
- Gode, J., Martinsson, F. Hagberg, L. Öman, A. Höglund, J. & Palm, D. (2011) *Miljöfaktaboken 2011 – Uppskattade emissionsfaktorer för bränslen, el, värme och transporter*. Stockholm. Värmeforsk Service AB
- Grönlund, Ö., & Eliasson, L (2012) *Knivslitage vid flisning av grot*. Uppsala: Skogforsk (Arbetsrapport från Skogforsk nr. 786-2013)

Helin, T., Sokka, L., Soimakallio, S., Pingoud, K. & Pajula, T. (2012) *Approaches for inclusion of forest carbon cycle in life cycle assessment – a review*. Blackwell Publishing Ltd. Global Change Biology Bioenergy, in press. doi: 10.1111/gcbb.12016

Johannesson, Gert (2013) Försäljningschef Osby Parca / EnerTech AB. Personlig kontakt. [2013-05-13]

Lehtikangas, P (1999). *Lagringshandbok för trädbränslen*, 2:a upplagan. Sveriges Lantbruksuniversitet, Uppsala

Länsstyrelsen (2004) *Partiklar och stoft – en kunskapsöversikt*. Göteborg. (Länsstyrelsen i Västra Götalands Län, Rapport 2004:56)

Naturvårdsverket (1987) *Fastbränsleeldade anläggningar 500kW-10MW*. Solna. (Naturvårdsverket. Allmänna råd 87:2)

Naturvårdsverket (2000) *Förbränning av biobränslen – bildanalysens möjligheter att reducera kväveoxidutsläpp*. Stockholm. Naturvårdsverket förlag

Naturvårdsverket (2005) *Förbränningsanläggningar för energiproduktion inklusive rökgaskondensering*. Naturvårdsverket. (Branschfakta. Utgåva 2. Mars 2005)

Naturvårdsverket (2013-02-20) *Sveriges miljömål* <http://miljömål.se/sv/Miljomalen/> [2013-05-23]

NordPool Spot (2012) *Nordic production split 2004-2011*. Tillgänglig: <http://www.nordpoolspot.com/Download-Centre/> [2013-05-15]

NordPool Spot (2013) *Elspot Prices from 1996 onwards, SEK*. Tillgänglig: <http://www.nordpoolspot.com/Download-Centre/> [2013-05-15]

Pettersson, M. (2006) *Grotskotning – Driftsuppföljning och tidsstudie*. Umeå: SLU/Energidalen i Sllefteå (Delrapport inom projektet "Samverkan för utveckling och förädling av regionens outnyttjade skogsresurser)

Regeringen (2012a). Regeringsbeslut N2012/2210/E. Stockholm

Regeringen (2012b). Regeringsbeslut N2012/2211/E. Stockholm

Riksbanken (2012-04-11). *Inflationsmålet*. <http://www.riksbank.se/sv/Penningpolitik/Inflation/Inflationsmalet/> [2013-05-07]

SCB (2013-04-11). *Konsumentprisindex* http://www.scb.se/Pages/TableAndChart_272151.aspx [2013-05-08]

Segerud, Karin (2004) *Askans värde i skogen*. Nirak Energikonsult för Svenska Energiaskor AB

Skogforsk (2009-12-15) *Transport av skogsbränsle med containerbil*. <http://www.skogforsk.se/sv/KunskapDirekt/skogsbransle/Grenar-och-toppar/Transport-av-skogsbransle/Lastning-av-containerbil/> [2013-05-14]

Skogforsk (2011). *Flis av Flis version 1.2.0.0* Tillgängligt: <http://www.skogforsk.se/sv/Verktyg/FLISavFLIS/>

- Skogforsk (2012-08-01) Ståndortsindex – gran och tall
<http://www.skogforsk.se/KunskapDirekt/Templates/page.aspx?id=11733> (2013-05-24)
- Skogsstyrelsen (2008a) *Skogsskötselserien nr.1 – Skogsskötsens grunder och samband*. Jönköping: Skogsstyrelsens förlag.
- Skogsstyrelsen (2008b). *Skogliga konsekvensanalyser*. Jönköping. (Skogsstyrelsen rapport 25:2008, SKA-VB 08)
- Skogsstyrelsen (2008c). *Rekommendationer vid uttag av avverkningsrester och askåterföring*. Jönköping (Skogsstyrelsen meddelande 2, 2008)
- Skogsstyrelsen (2009). *Skogsskötselserien nr. 17 – Skogsbränsle*. Jönköping: Skogsstyrelsens förlag
- Skogsstyrelsen (2012). *Skogsstatistiks årsbok 2012*. Jönköping
- SMHI (2008) Licensierad fil: *3-timmars klimatmätvärden från Hällum, Västergötland*. SMHI, Norrköping.
- Svenska Energiaskor (2013) <http://www.energiaskor.se/Deponier.html> [2013-05-10]
- Svensk Energi (2013) *Energiskattens historia*.
<http://www.svenskenergi.se/Global/Dokument/information/Elskattens%20historia%202013.pdf> [2013-05-05]
- Svensk Fjärrvärme (2012) *Levererad fjärrvärme 1955-2012*. Stockholm, Svensk fjärrvärme.
<http://www.svenskfjarrvarme.se/Statistik--Pris/Fjarrvarme/Leveranser/> [2012-10-25]
- Svensk fjärrvärme (2012-09-13) *Fjärrvärmepreiser 2012*
<http://www.svenskfjarrvarme.se/Global/Statistik/Övriga%20dokument/2012/Fjärrvärmepreiser%20PM%202012.pdf> [2013-05-11]
- Svenska Kommunal-Tekniska Förening (2010). *Prisundersökning för kommunal mark 2009-2010*.
http://www.skt.se/kurser/rapporter/MEX2010/onsdag/Sammanställning_av_Prisundersokning_2010.pdf [2013-05-10]
- Thunell, Jörgen. (1996) *Gasbranschens miljöhandbok*. Malmö. Svenskt Gastekniskt Center AB (Rapport SGC 075)
- Uppenberg, S., Alemark, M., Brandel, M. Lindfors, L-G., Marcus, H-O., Stripple, H., Wachtmeister, A. & Zetterbreg, L. (2001) *Miljöfaktabok för bänslen – Del 2. Bakgrundsinformation och teknisk bilaga*. Stockholm. IVL Svenska Miljöinstitutet AB (IVL Rapport B 1334B-2)
- Vattenfall (2012) *Livscykelanalys – Vattenfalls elproduktion i Norden*. Vattenfall AB
- VVS-tekniska föreningen. (1974). *VVS-handboken: Tabeller och diagram*. Stockholm: Förlags AB VVS
- Öman, A., Hallberg, L. & Rydberg, T. (2011) *LCI för petroleumprodukter som används i Sverige*. IVL Svenska Miljöinstitutet (IVL Rapport B1965)

SLU
Institutionen för energi och teknik
Box 7032
750 07 UPPSALA
Tel. 018-67 10 00
pdf.fil: www.slu.se/energioghteknik

SLU
Department of Energy and Technology
P. O. Box 7032
SE-750 07 UPPSALA
SWEDEN
Phone +46 18 671000